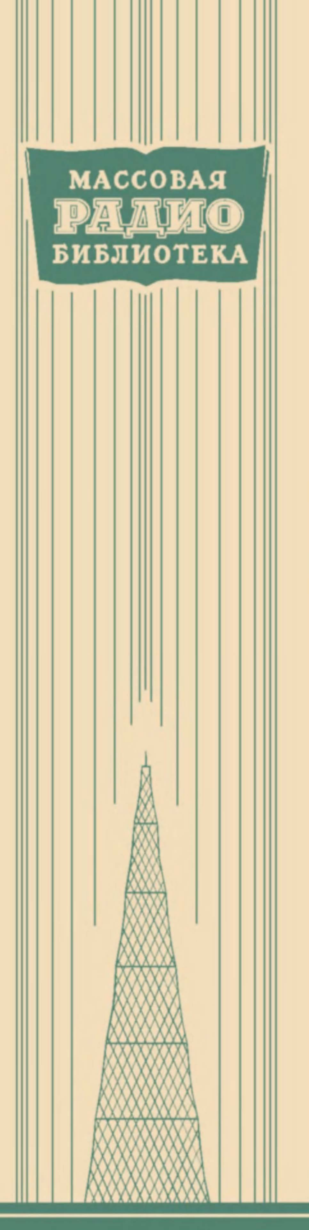
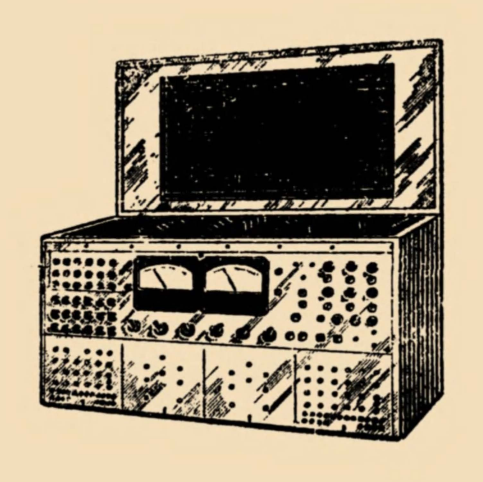


Ф. В. МАЙОРОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1957

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 285

Ф. В. МАЙОРОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

(ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1957 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматривается принцип действия электронных цифровых вычислительных машин и их элементы. Сосновное внимание уделяется элементам цифровых вычислительных машин, выполненных на электронных лампах, полупроводниковых диодах и триодах и ферритовых сердечниках.

Книга рассчитана на читателей, знакомых с элементами электроники.

Майоров Федор Васильевич

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ)

Редактор *К. А. Шульгин* Техн. редактор *Л. Я. Медведев*

Сдано в пр-во 7/VIII 1957 г. Подписано к печати 22/XI 1957 г.
Бумага 82×108 1/32 8,2 печ. л. Уч.-изд л. 8,7.
Т-10433 Тираж 25 000 экз. Цена 3 р. 50 коп. Заказ № 436.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. ТИПЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

Одним из замечательных достижений нашего века — века атомной энергии и электронной автоматики — является создание быстродействующих электронных вычислительных машин. Уже издавна для ускорения вычислений пользуются счетами, логарифмической линейкой, арифмометром. Эти простые устройства вполне хороши, если не требуется производить большого числа вычислений.

С развитием науки и техники и расширением объема промышленного производства возникла необходимость в выполнении множества вычислительных операций, требующих затраты сотен и тысяч часов человеческого труда. В связи с этим и были созданы электронные вычислительные машины, позволяющие решать сложнейшие математические задачи с недоступной прежде скоростью и точностью. Первая такая машина была построена в 1945 году.

Для решения какой-либо математической задачи посредством вычислительной машины должна быть заранее составлена подробная программа последовательных арифметических операций, которые эта машина должна будет выполнить. Чтобы такое «программирование» не занимало много времени, применяют специализированные цифровые машины для решения задач какого-либо определенного типа. Специализация машин упрощает ее конструкцию, уменьшает число содержащихся в ней электронных ламп, повышает надежность ее работы.

Универсальные цифровые машины применяются глав-

ным образом для решения задач с большим объемом вычислений и там, где требуется высокая точность. Они весьма сложны и содержат тысячи электронных ламп, десятки и сотни тысяч различных радиодеталей. Оборудование такой машины занимает большой зал.

Так, например, одна из универсальных электронных вычислительных машин содержит более 4 000 электронных ламп и 12 000 полупроводниковых диодов. Она состоит из 11 блоков, вес которых составляет около 12 *т*. Кроме того, для охлаждения машины во время работы требуется оборудование весом около 80 *т*. Высота стоек, на которых расположена аппаратура, составляет около 2 *м*. Машина занимает зал площадью в 100 $м^2$ и потребляет около 60 *квт*. На этой машине производится расчет действия излучения, возникающего при освобождении атомной энергии, расчет аэродинамических характеристик самолетов и управляемых ракет, анализ вибраций и напряжений в деталях конструкций, вычисления в области геофизики и т. д. Она оперирует с десятизначными десятичными числами и производит 16 666 сложений и вычитаний или 2 192 умножения в секунду. Если считать, что один вычислитель при помощи обычного арифмометра может произвести не более 1 000 арифметических операций в день, то такая электронная машина заменяет труд не менее 300 000 человек.

В СССР разработано несколько конструкций универсальных цифровых вычислительных машин. Так, например, быстродействующая электронная счетная машина Академии наук СССР БЭСМ (рис. 1) используется для решения трудоемких задач в различных областях науки и техники. Она содержит около 5 000 электронных ламп и занимает большой зал. Эта машина производит в среднем около 7 000 — 8 000 сложений в секунду. Результаты вычислений записываются на магнитную ленту и затем печатаются на киноленте. Скорость печатания — 200 цифр в секунду.

Значительно меньшие размеры имеет универсальная вычислительная машина М-2 (рис. 2), разработанная в Энергетическом институте Академии наук СССР. Она содержит 1 670 электронных ламп и занимает комнату площадью в 22 $м^2$. Скорость ее действия составляет около 3 000 сложений в секунду. Машина потребляет мощность 29 *ква*

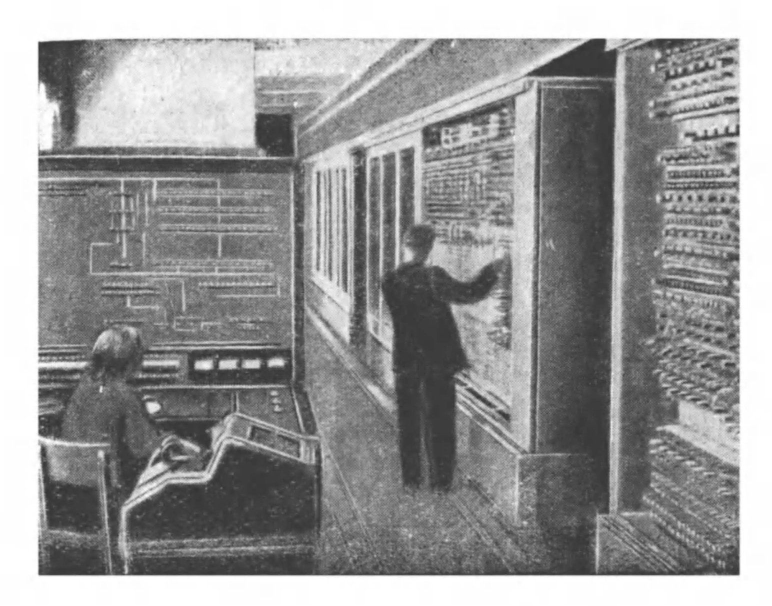


Рис. 1. Электронная счетная машина БЭСМ.

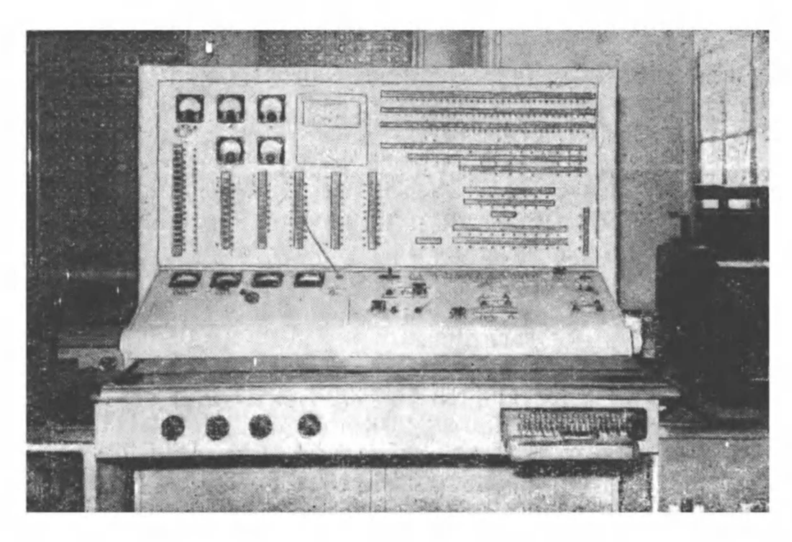


Рис. 2. Электронная счетная машина М-2.

В табл 1 приведены основные данные современных универсальных цифровых машин.

По принципу решения математических задач цифровые машины можно разделить на два типа· арифметические и интегрирующие В арифметических машинах числа задаются в виде кодов в двоичной системе счисления Решение задачи здесь приводится к выполнению четырех арифметических действий сложения, вычитания, умножения и деления Цифровая машина этого типа представляет своего рода «электронный арифмометр», работающий по определенной, заранее заданной про грамме

Интегрирующие машины оперируют с импульсами, каждый из которых представляет собой определенное приращение данной величины Эти импульсы, накапливаясь в электронном счетчике машины, образуют код числа, который и представляет собой полное значение (интеграл) данной физической величины. Таким образом, в отличие от цифровых арифметических машин в машинах этого типа все вычисления сводятся к одной операции интегрирования, которая может быть приведена к операции сложения или вычитания чисел. Впервые машины этого типа, отличающиеся непрерывностью действия, были применены для решения дифференциальных уравнений Они известны в литературе как цифровые дифференциальные анализаторы.

Основные характеристики некоторых малых и специа лизированных электронных цифровых машин приведены в табл. 2 (см. стр. 12).

Специализированная цифровая машина для решения дифференциальных уравнений имеет всего лишь около 400 электронных ламп и нескольких сот германиевых диодов. Ее размеры не превышают обычного письменного стола, вес составляет всего лишь 160 *кг*, а потребляемая мощность — около 3 *ква* Машина оперирует с шестизначными десятичными числами и обладает достаточно большой скоростью вычислений (около 5 000 сложений или вычитаний в секунду) Она применяется для решения дифференциальных уравнений аэродинамики, описывающих траекторию полета, для решения интегральных и алгебраических уравнений и т. д

Кроме указанных выше счетных машин, созданы также машины-автоматы, делающие по определенной, за

данной человеком программе такие логические заключения, как выбор «да» и «нет», сравнение чисел, выборку требуемых численных значений, определение знака числа и т. д

Наличие в цифровых вычислительных машинах запоминающего устройства большой емкости позволяет использовать их для автоматического перевода слов с одного языка на другой, для хранения отбора и систематизации справочных сведений, выборки библиографических данных и т. д.

Для автоматического перевода с одного языка на другой, например с английского на русский, в запоминающем устройстве машины хранится в закодированном виде словарь английских слов, переведенных на русский язык. а также отдельные обороты речи, связующие предложения и т д. Для перевода сравнительно простого текста машина по известным правилам, записанным в виде программы, находит в словаре нужные слова и производит обработку их в соответствии с заданными грамматическими и синтаксическими правилами После этого в определенном порядке из слов образуется предложение, которое печатается на бумаге

В последнее время цифровые машины используются для автоматического управления и регулирования различных производственных процессов (так называемые «управляющие машины»). В такую машину поступают все исходные данные, характеризующие производственный процесс: показания измерительных приборов, требуемые программы и режимы работ станков, сведения о деталях, подлежащих сборке, и т д Управляющая машина не только производит вычисления по заданным программам, но и делает необходимые логические заключения о дальнейшем направлении производственного процесса От нее исходят команды для регулирования различных физических параметров, влияющих на производственный процесс.

Примером управления производственным процессом с помощью машины является автоматизация фрезерного станка, производящего обработку сложной поверхности лопасти газовой турбины Вычислительная машина по заданным формулам и исходным величинам производит расчет координат ряда точек профиля лопасти, по которым станок без всякого чертежа или шаблона с высокой

Основные данные универсальных

Наименование машины	Тип машины	Число двоичных разрядов	Запоминающее устройство	
			наименование	время выборки
БЭСМ (СССР)	Параллельная	32	Электронно-лучевые трубки (специальные)—*ЭТ*, магнитный барабан—*МБ* и магнитные ленты—*МЛ*	12 *мксек*
М-2 (СССР)	Параллельная	32	Электронно-лучевые трубки (обычные) — *ЭТ*, магнитный барабан — *МБ* и магнитные ленты	—
ИБМ-701 (США)	Параллельная	36	Электронно-лучевые трубки — *ЭТ*, магнитный барабан и магнитные ленты	12 *мксек*
НОРК (США)	Параллельная	16 десятичных	Электронно-лучевые трубки — *ЭТ* и магнитная лента *МЛ*	8 *мксек*
БЭСК (Швеция)	Параллельная	40	Электронно-лучевые трубки — *ЭТ*, магнитный барабан — *МБ* и магнитные сердечники (в новой модели)	—
УНИВАК (США)	Последовательная	12 десятичных	Ртутные линии задержки — *РЛ* (частота =2 250 *кгц*). В новой модели магнитные сердечники — *МС* и магнитный барабан — *МБ*	—
ДИСЕАК (США)	Последовательная	45	Ртутные линии задержки (частота 1 *Мгц*) — *РЛ* и магнитная лента — *МЛ*	384 *мксек* (среднее)
КАБ-2022 (Франция)	Последовательная	22	Магнитные сердечники — *МС* и магнитный барабан — *МБ*	—
„Стрела“ (СССР)	Параллельная	10 десятичных	Электронно-лучевые трубки (специальные)—*ЭТ* и магнитные ленты — *МЛ*	—
ИБМ-705 (США)	Параллельная	36	Магнитные сердечники — *МС*, магнитный барабан—*МБ* и магнитная лента — *МЛ*	—
„Вахрь I“ (США)	Параллельная одноадресная	16	Электронно-лучевые трубки — *ЭТ*, магнитные сердечники —*МС*, магнитный барабан — *МБ* и магнитные ленты — *МЛ*.	—

Емкость (мест кодов) чисел	Скорость вычислении (число сложений, умножений и делений в секунду)	Количество элементов: электронных ламп	Количество элементов: германиевых диодов	Примечание
ЭТ — 1 023 *МБ* — 5 120 *МЛ*—4×30 000	5 500—13 000 сложении и 3 700 умножений	5 000	—	Занимаемая площадь 100 *м²*, потребляемая мощность 75 *ква*, в последнее время введено запоминающее устройство на магнитных сердечниках емкостью в 1 023 числа
ЭТ — 512 *МБ* — 5 000	3 000 сложений	1 670	—	Занимаемая площадь 22 *м²*, потребляемая мощность 29 *ква*
ЭТ — 2 048	17 000 сложений	4 000	12 800	Изготовляется серийно, состоит из 11 шкафов высотой 180 *см*, общий вес установки 14,5 *т*, потребляемая мощность около 80 *ква*
ЭТ — 2 000 *МЛ*—4 200 000	66 000 сложений и 32 000 умножений	9 800	30 000	В машине принята десятичная система счисления. Потребляемая мощность 168 *ква* (без охлаждения)
ЭТ — 512 *МБ* — 8 192	18 000—20 000 сложений	2 000	300	Потребляемая мощность 15 *ква*
РЛ—1 024 *МС* — 4 096 *МБ* — 16 384	1 700 сложений	3 500	—	Изготовляется серийно, применяется так же, как информационно-статистическая машина
РЛ — 512 *МЛ* — 4 096—120 000	1 000 сложений	884	24 100	Помещается в двух фургонах для перевозки
МС — 128 *МБ* — 8 192	4 350 сложений и 19[illegible] умножений	800	8 000	Применяются съемные блоки с печатным монтажом, потребляемая мощность 8 *квт*, размеры машины 6×0,9×2,1 *м*
ЭТ — 1 023 *МЛ* — 100 000	2 000—3 000 сложений	8 000	60 000	—
МС — 8 192 *МБ* - 8 192—16 384 *МЛ* — 4 000 0 0	14 000—83 000 сложений и 4 500—[illegible]000 умножений	—	—	—
ЭТ — 2 048 *МС* — 2 048	20 400 сложений, 16 400 умножений и 10 000 делений	6 800 ламп и 1 800 реле	22 000	Занимаемая площадь 306,5 *м²*, потребляемая мощность 60 *ква*, частота следования импульсов в машине 1—2 *Мгц*, машина этого типа применяется в системе наведения ПВО

Основные данные малых универсальных и специализирован

Наименование машины	Тип машины	Число разрядов	Запоминающее	
			наименование	время выборки
М-3 (СССР)	Параллельная	—	Магнитный барабан	3 000 *об/мин*
МОНРОБОТ (США)	Последовательная	20 десятичных	Магнитный барабан	3 600 *об/мин*
КРК-105 (США)	Цифровая интегрирующая	6 десятичных	Магнитный барабан	3 600 *об/мин*
ДИДЖИТАК (США)	Последовательная (самолетная)	17 двоичных	Магнитный барабан (*МБ*). Линии задержки (*ЛЗ*)	—
ДЖЕКОМП „С" (США)	Параллельная самолетная	24 двоичных	Регистры на ферритах (*РФ*) Перфокарты	4 *мксек*
„Урал" (СССР)	Последовательно-параллельная	10 десятичных	Магнитный барабан (*МБ*). Внешняя память (*ВП*)	—
ИБМ-650 (США)	Параллельная	10 десятичных	Магнитный барабан (*МБ*) Перфокарты	*МБ*—1 300 *об/мин*
Цифровой дифференциальный анализатор (США)	Последовательная цифровая интегрирующая для самолета (МАКЕ)	23 двоичных	Магнитный диск	—
Цифровой дифференциальный анализатор Д-12 (США)	Последовательная цифровая интегрирующая для научно-технических расчетов	8 десятичных	Магнитный барабан (*МБ*). Перфоленты. Графическая запись	*МБ* — 43 *мксек*

Таблица 2

ных электронных цифровых машин

устройство емкость кодов	Скорость вычислений	Количество электронных ламп	Примечание
1 024 кода	30 операций в секунду	800	Площадь, занимаемая машиной, 2 *м*²
800	9 сложений в секунду	—	Объем письменного стола
60 интеграторов	3 600 шагов интегрирований в секунду	400	Объем шкафа 96×180×225 *см* Потребляемая мощность 3,3 *ква*
МБ—1 056 чисел *ЛЗ* — 6 кодов чисел	2 решения задачи в секунду	434	Вес 100 *кг*, объем 0,34 *м*³ Потребляемая мощность 1,3 *ква*
РФ — 128 кодов	—	800	Размеры 56×61×71 *см*
МБ — 1 023 кода ВП — 50 000 чисел	100 операций в секунду	800	Потребляемая мощность 2 *ква*
20 000	200 сложений в секунду, 100 умножений	—	Изготовляется для научных и коммерческих расчетов
20 000 (93 интегратора)	Частота следования импульсов 50 *кгц*	1 000 полупроводниковых триодов, 3 500 диодов	Потребляемая мощность 100 *вт*. Вес 56,7 *кг*, объем 0,085 *м*³. Безламповая машина на полупроводниковых элементах и печатных схемах
22 000 цифр	Частота следования импульсов 100 *кгц*	700 ламп, 2 200 диодов	Потребляемая мощность 7,5 *ква*. Изготовляется серийно. В последней модели 1955 г. (типа Ж15Д) выполняется совместно с арифметической машиной последовательного действия

скоростью и точностью автоматически воспроизводит требуемый профиль изделия.

Электронная цифровая машина может быстро переключаться с решения одной задачи на другую или одновременно решать несколько задач. Так, цифровую электронную машину, установленную, например, на самолете, в начале полета можно использовать для самолетовождения, затем переключить на решение другой задачи, после чего снова использовать для целей навигации. Показания авиационных приборов (высоты, скорости, дальности, курсового угла и т д) вводятся в нее автоматически, например через каждые 0,1 *сек* В течение этого же времени она дает результаты вычислений. Машина содержит 800 сверхминиатюрных ламп и имеет объем, немногим более обычного телевизора.

Недавно в США разработана самолетная цифровая интегрирующая машина на полупроводниковых приборах. Она содержит 1 000 плоскостных полупроводниковых триодов и 3 500 диодов Вес машины составляет всего лишь 56,7 *кг,* а объем 0,085 $м^3$. Это в четыре раза меньше веса и в семь раз меньше объема аналогичной машины на электронных лампах, имеющей такие же технические характеристики. Машина позволяет решать сложные задачи, для чего в ней имеется 93 цифровых интегратора Запоминающее устройство машины выполнено на магнитном диске емкостью в 20 000 двоичных кодов. Усилители для считывания и записи информации на магнитном диске выполнены также на плоскостных полупроводниковых триодах.

В универсальных цифровых машинах также начали широко применять полупроводниковые триоды. Одна из цифровых машин, предназначенная для коммерческих вычислений, содержит 2 165 плоскостных триодов и 3 600 германиевых диодов и не имеет ни одной электронной лампы. Она потребляет 310 *вт*, что на 95% меньше, чем мощность, потребляемая аналогичной машиной на электронных лампах. Объем, занимаемый машиной, уменьшен в два раза, что еще не является пределом Машина на полупроводниковых приборах значительно надежнее в работе и долговечнее, чем машина на электронных лампах.

Приведенные примеры показывают, что электронные цифровые машины являются весьма мощным средством

прогресса науки и техники Можно смело сказать, что в будущем при помощи вычислительных машин будет осуществляться автоматическое управление цехами и предприятиями, планирование, финансовые и бюджетные операции, отчетность и т п

2 КОДИРОВАНИЕ ЧИСЕЛ

Цифровые машины оперируют с числами, представленными в виде определенной последовательности электрических импульсов, называемой кодом числа. Электронные лампы, а также полупроводниковые диоды и триоды, применяемые в счетных машинах, наиболее удобно использовать только в двух рабочих состояниях· «открыто» и «закрыто». В первом состоянии электронный прибор проводит ток, во втором — не проводит. Таким образом, лампа здесь играет роль электронного ключа. Соответственно двум положениям электронного ключа числа, с которыми оперирует машина, кодируются в так называемой двоичной системе счисления.

В распространенной и привычной для нас десятичной системе счисления используется десять цифр (от 0 до 9). Двоичная система отличается от десятичной тем, что в ней для обозначения числа применяется всего два символа — 0 и 1. Так же как и в десятичной, в двоичной системе числа разделяются на разряды Первый (низший) разряд числа при общепринятой записи слева направо представляется крайней правой цифрой, второй разряд — второй цифрой справа и т. д. Если в десятичной системе цифра, обозначающая высший разряд, больше такой же цифры предыдущего разряда в 10 раз, то в двоичной системе она отличается от предыдущей цифры всего в два раза. Так, цифра 2 десятичной системы в двоичной системе обозначается уже единицей во втором разряде. Если в третьем разряде десятичной системы значатся сотни, то в третьем разряде двоичной системы только четверки, в пятом — 16 единиц, в шестом — 32 и т. д.

Число в двоичной системе представляется в виде суммы ряда, каждый член которого представляет собой число 2, возведенное в степень 0, 1, 2, 3 и т д и умно-

женное на единицу или нуль. Например, число 13 может быть представлено так:

$$1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 13.$$

Соответственно этому код числа 13 в двоичной системе запишем следующим образом:

Номер разряда	4 3 2 1
Код числа 13	1 1 0 1

Здесь под разрядом подразумевается степень, в которую возведена двойка: первый разряд соответствует 2^0, второй — 2^1, третий — 2^2, четвертый — 2^3 и т. д.

При введении кода в машину коду 1 соответствует электрический импульс, а коду 0 — отсутствие импульса. Для числа 13 эта последовательность импульсов показана на рис. 3. Таким образом, любое число можно представить в двоичной системе счисления определенной последовательностью импульсов.

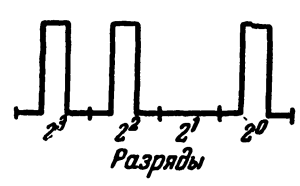


Рис. 3. Импульсный двоичный код числа 13.

Число разрядов в машине выбирается в зависимости от требуемой точности вычислений. Например, в случае десяти разрядов наибольшее число, которое может быть записано в двоичной сисгеме счисления, равно 2^{10} или 1 024. При наличии десяти двоичных разрядов число 235 запишется так:

$$0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + \\ + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 235.$$

Следовательно, код числа $+235$ можно записать в виде

$$\boxed{0}\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1.$$

Здесь слева в прямоугольнике показан код знака числа (0, для положительного и 1 для отрицательного).

В современных вычислительных машинах число разрядов выбирается от 16 до 40 и более, что соответствует 5 — 12 и более разрядам десятичных чисел.

Количество разрядов чисел, с которыми можно оперировать посредством машины, должно быть не более того, на которое она спроектирована. Так как при ариф-

метических операциях, например при умножении, может получиться большее число разрядов, чем то, на которое рассчитана машина, то младшие разряды чисел или отбрасываются, или машина «округляет» результат вычислений с учетом отбрасываемых младших разрядов. Целая часть числа в машине, так же как и при обычных вычислениях, отделяется от дробной с помощью запятой.

Положение запятой может быть жестко фиксированным, и тогда говорят, что машина работает с «фиксированной запятой» перед первым старшим разрядом числа. При этом максимальное значение числа, с которым может оперировать машина, принимается равным единице. В этом случае числа, вводимые в машину и получаемые в результате вычислений, не должны быть больше максимального числа принятого за единицу. Так как это в начале решения задачи бывает трудно установить, то для удобства вычислений имеются машины с так называемой «плавающей запятой». В этих машинах запятая устанавливается самой машиной в нужном месте. Для этого в коде числа добавляется некоторое число старших разрядов после запятой, отделяемых от младших разрядов. Первый разряд после запятой имеет порядок 10^1, второй 10^2, третий 10^3 и т. д.

Например, число 285, 324 имеет третий порядок после запятой и может быть представлено как $10^3 \cdot 0,285324$. Порядок числа в двоичной системе учитывается в машине посредством отдельного «кода порядков» входящего в код числа. При сложении и вычитании чисел все числа представляются в виде десятичной дроби (меньшей единицы), имеющей одинаковое число разрядов. Например, пусть требуется сложить

$$54,286 = 10^2 \cdot 0,54286$$

и

$$124,108 = 10^3 \cdot 0,124108$$

Для сложения этих чисел необходимо, чтобы порядки их были одинаковыми. Ввиду этого число, имеющее меньший порядок, сдвигается вправо на нужное число разрядов таким образом, чтобы порядки обоих чисел были одинаковыми. В данном примере получим:

$$\begin{array}{r} + \begin{array}{r} 10^3 \cdot 0,054286 \\ 10^3 \cdot 0,124108 \end{array} \\ \hline \text{сумма равна } 10^3 \cdot 0,178394 \end{array}$$

Если при выравнивании порядков, или, как говорят, их нормализации, меньшее число, сдвигаемое вправо, выходит из того количества разрядов, которое имеет машина, то выходящие из пределов регистра низшие разряды кода числа отбрасываются. Порядки чисел и само число обычно кодируются в двоичной системе счисления.

Применение двоичной системы счисления дает возможность все арифметические операции свести к сложению и вычитанию кодов чисел, причем складываются коды каждого разряда. При этом, когда складываются две единицы, в сумме для данного разряда числа пишется 0, а 1 переносится в следующий (высший) разряд. Если же складываются 1 и 0, то в сумме получается 1.

Например, сложим числа +13 и +9:

В десятичной системе:

$$\begin{array}{r} +13 \\ + \;\; +9 \\ \hline +22 \end{array}$$

В двоичной системе:

$$\begin{array}{r} \boxed{0}\;0\;1\;1\;0\;1 \\ + \;\; \boxed{0}\;0\;1\;0\;0\;1 \\ \hline \boxed{0}\;1\;0\;1\;1\;0 \end{array}$$

Операции с кодами ячеек знака производятся так же, как и с кодами разрядов самого числа; получившийся в результате сложения код знака и есть код знака суммы.

При сложении отрицательных чисел они должны быть взяты в дополнительном коде. Дополнительный код числа представляет собой обратный код (т. е. код, при котором в каждом разряде вместо 1 взят 0 и вместо 0 взята 1) плюс единица в низшем разряде.

Например, если прямой код числа +9 пишется как $\boxed{0}$ 0 1 0 0 1, то обратный код числа 9 запишется так:

$$\boxed{1}\;1\;0\;1\;1\;0.$$

Прибавив единицу в низшем разряде, получим дополнительный код числа 9:

$$\boxed{1}\;1\;0\;1\;1\;1.$$

Написанный код и есть код отрицательного числа —9.

В качестве примера в табл. 3 приведены коды положительных и отрицательных чисел от 0 и до ±11.

Таблица 3

Коды положительных и отрицательных чисел

Положительные числа: Число в десятичной системе	Знак	Код в двоичной системе; разряды числа: 5	4	3	2	1	Отрицательные числа: Число в десятичной системе	Знак	Код в двоичной системе; разряды числа: 5	4	3	2	1
		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0			2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+1	0	0	0	0	0	1	—1	1	1	1	1	1	1
+2	0	0	0	0	1	0	—2	1	1	1	1	1	0
+3	0	0	0	0	1	1	—3	1	1	1	1	0	1
+4	0	0	0	1	0	0	—4	1	1	1	1	0	0
+5	0	0	0	1	0	1	—5	1	1	1	0	1	1
+6	0	0	0	1	1	0	—6	1	1	1	0	1	0
+7	0	0	0	1	1	1	—7	1	1	1	0	0	1
+8	0	0	1	0	0	0	—8	1	1	1	0	0	0
+9	0	0	1	0	0	1	—9	1	1	0	1	1	1
+10	0	0	1	0	1	0	—10	1	1	0	1	1	0
+11	0	0	1	0	1	1	—11	1	1	0	1	0	1
и т. д.							и т. д.						

Допустим, требуется сложить числа $+15$ и -9, т. е. из 15 вычесть 9. Для этого производим сложение кодов чисел.

В десятичной системе:

$$+\begin{array}{r} +15 \\ -\ \ 9 \\ \hline +\ \ 6 \end{array}$$

В двоичной системе:

$$+\begin{array}{r} \boxed{0}\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ \boxed{1}\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ \hline \boxed{0}\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \end{array}$$

Полученный код и есть код числа $+6$.

Действия с дополнительными кодами в двоичной системе во многом походят на действия с дополнительными числами в десятичной системе счисления. Произведем, например, операцию вычитания чисел $700 - 428 = 272$ путем сложения числа 700 с числом 572, дополняющего вычитаемое число до 1 000. При этом получим

$$700 + 572 = \boxed{1}\ 272.$$

Если отбросить высший разряд полученного числа, то путем прибавления дополнительного числа мы получим правильный результат вычитания.

В двоичной системе счисления дополнительный код представляет собой дополнение до числа, изображаемого кодом следующего высшего разряда. Так, например, дополнительные коды отрицательных чисел, приведенные в табл. 3 для двоичного числа, имеющего пять разрядов, являются дополнением до $32=2^6$, т. е. до числа, выражаемого кодом следующего высшего (шестого) разряда

Весьма важным преимуществом, которое дает применение в электронных машинах двоичной системы, является сравнительная простота выполнения операций умножения и деления.

При умножении в двоичной системе произведение кода любого числа на 0 дает 0, а при умножении на 1 получается множимый код без изменения. В результате операция умножения сводится к умножению кода числа множимого на каждый разряд множителя и к суммированию полученных «частных произведений». При каждом таком суммировании код множимого сдвигается влево на один разряд. Пусть, например, требуется умножить +15 на +9.

В десятичной системе

$$\times\begin{array}{r} +15 \\ +\ 9 \\ \hline +135 \end{array}$$

В двоичной системе,

$$\times\begin{array}{r} 0\,0\,1\,1\,1\,1 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1 \\ \hline 0\,1\,1\,1\,1 \\ 0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,1\,1\,1 \\ 0\,0\,0\,0\,0 \\ \hline 0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,1\,1\,1 \end{array} =$$

$$=1\ 2^7+1\ 2^2+1\ 2^1+1\cdot 2^0=$$

$$=128+4+2+1=135$$

Знак произведения определяется отдельно комбинаций кодов ячеек знака обоих сомножителей.

Умножение положительных и отрицательных чисел производится так же, как и положительных, причем как положительные, так и отрицательные числа могут быть взяты в прямом коде. В ячейке знака положительного числа ставится код «0», а отрицательного — код «1»

Например, требуется умножить — 11 на + 7

В десятичной системе·   В двоичной системе·

```
 (−11)        [1] 0 1 0 1 1
×             [0] 0 0 1 1 1
 (+ 7)        -------------
 -----              0 1 0 1 1
  −77             0 1 0 1 1
                0 1 0 1 1
              0 0 0 0 0
              0 0 0 0
            -----------------
            [1] 0 1 0 0 1 1 0 1
```

или в десятичной системе $1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 +$ $+ \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 77$.

Код знака определяется отдельно по тем же правилам, что и знак произведения в десятичной системе счисления (произведение положительного числа на отрицательное дает отрицательное число, а отрицательного на отрицательное — положительное число).

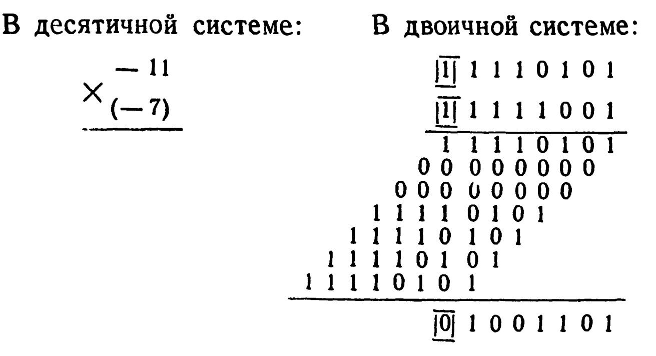
Можно также производить умножение отрицательных чисел, представленных в виде дополнительного кода. В этом случае умножение производится так же, как и раньше, но за результат принимается только правая часть кодов полученного произведения, левая часть отбрасывается. Например:

В десятичной системе   В двоичной системе

```
  −11                 [1] | 1 1 1 0 1 0 1
× + 7                 [0] | 0 0 0 0 1 1 1
 -----                    |
  −77                   1 | 1 1 1 0 1 0 1
                      1 1 | 1 1 0 1 0 1
                    1 1 1 | 1 0 1 0 1
                  0 0 0 0 | 0 0 0 0
                0 0 0 0 0 | 0 0 0
              0 0 0 0 0 0 | 0 0
            0 0 0 0 0 0 0 | 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 | 0
        ----------------- | --------------
                      [1] | 0 1 1 0 0 1 1
```

Полученный код представляет собой первые восемь разрядов справа. Ячейка знака в результате сложения имеет код «1». Это показывает, что найденное число отрицательное. Результат получен здесь в виде дополнительного кода

При умножении отрицательного числа на отрицательное, пользуясь дополнительными кодами, получим:



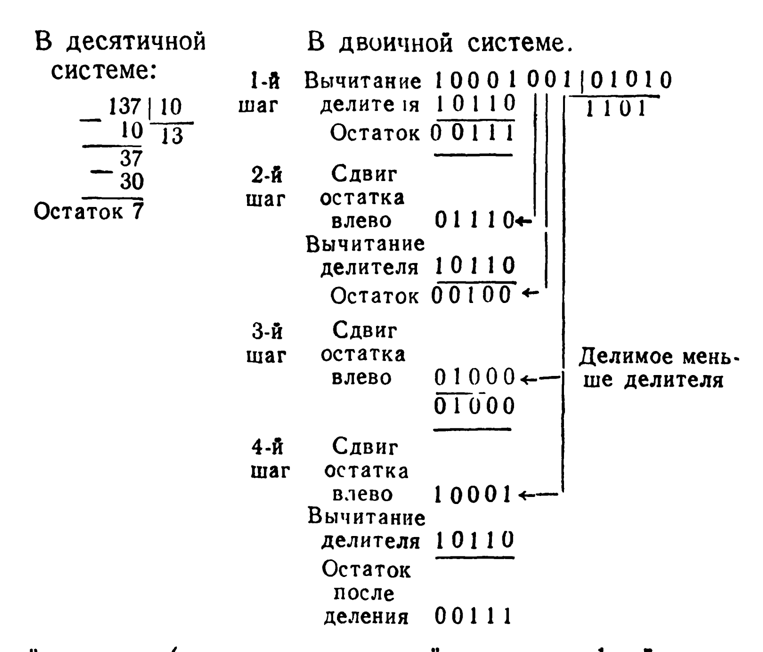
Получили правильный результат: положительное число 77 с кодом «0» в ячейке знака.

Если необходимо произвести умножение более быстро, то целесообразно преобразовать отрицательные числа из дополнительного кода в прямой и выполнять умножение без учета разряда знака, а затем определить знаки произведения.

Процесс деления производится по такому же принципу, как и в десятичной системе, и сводится к ряду последовательных вычитаний делителя и сдвинутого при каждом шаге деления на один разряд вправо. При этом умножения делителя на разряд частного, как в десятичной системе счисления, производить не требуется. Поясним это примером деления числа 137 на 10 (см. стр. 23)

В этом примере делимое помещается справа, а делитель в углу. При каждом шаге деления делитель вычитается из делимого и полученный остаток сдвигается влево на один разряд. К полученному остатку приписывается или сносится следующая цифра делимого и снова производится вычитание и т. д.

Первый шаг деления начинаем с вычитания делителя (01010) из старших пяти разрядов делимого. Вычитание производится путем сложения делимого с дополнительным кодом делителя (10110). Полученный остаток сдвигается влево на один разряд и к нему сносится следующая цифра делимого (показанная стрелкой). Затем снова производится вычитание делителя из делимого. При каждом шаге деления в частном ставится код «1», если получен-



ный остаток (вместе со снесенной к нему цифрой делимого) больше делителя. Если же он меньше, то в частном ставится код «0». В приведенном примере после второго шага деления остаток (01000) вместе со снесенной следующей цифрой из делимого оказался меньше делителя. Поэтому в частном ставим код «0» и сносим к остатку следующую цифру делимого. Процесс деления продолжается до тех пор, пока не будут снесены все цифры делимого и не получится полное значение частного. Остаток (111), полученный после последнего вычитания, прибавляется к частному как дробь, так же, как и в десятичной системе счисления. Результат деления в приведенном примере равен $13^7/_{10}$ или в двоичной системе

$$1\,101 + \frac{111}{1\,010}.$$

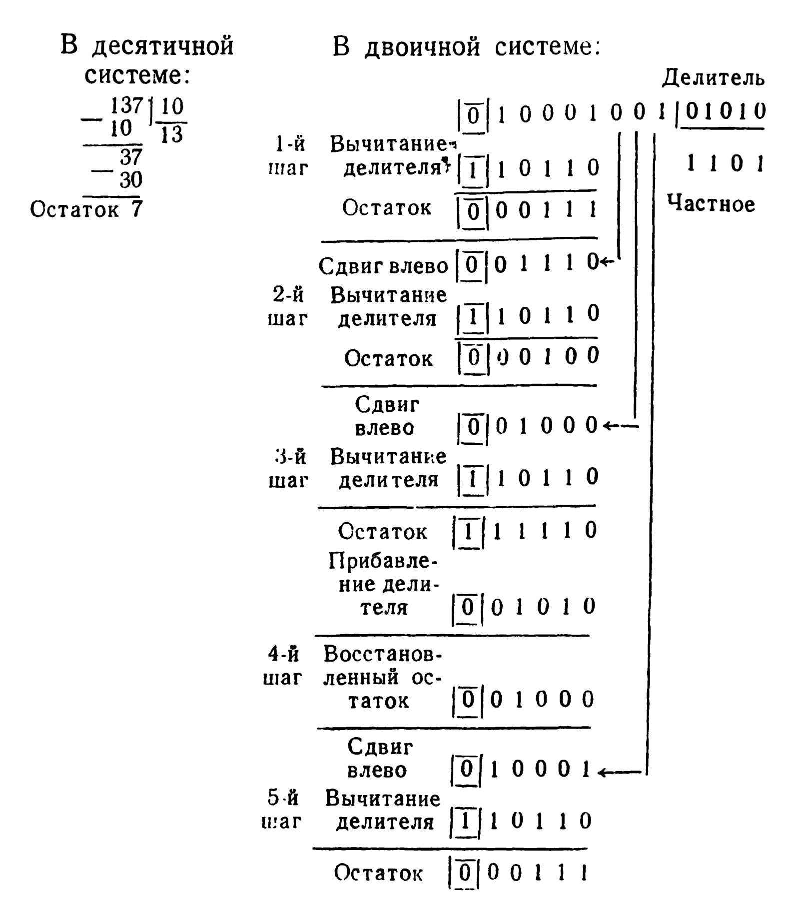
Таким образом, процесс деления сводится к ряду последовательных вычитаний и сдвигу делимого на один разряд вправо при каждом шаге деления. Умножение же делителя на разряд частного, как в десятичной системе счисления, производить не требуется

Для автоматизации процесса деления в цифровой машине пользуются следующими правилами:

1. Выполнение деления сводится к последовательному вычитанию (или прибавлению) делителя из делимого и сдвигу остатка каждый раз на один разряд влево.

2. Если знак очередного остатка положительный, то делитель вычитается из него; если знак остатка отрицательный, то делитель прибавляется к остатку.

3. Если остаток положительный, то код очередного разряда частного будет единица и, наоборот, если остаток отрицательный, то очередной разряд частного будет нуль.



4. Если остаток при вычитании получается отрицательным, то к нему прибавляется делитель, и остаток получается положительным (или, как говорят, происходит восстановление остатка).

Поясним приведенные правила деления следующим примером (см. стр. 24).

Деление положительных и отрицательных чисел производится так же, как и положительных чисел, знак же числа определяется отдельно по тем же правилам, что и при умножении.

3. БЛОК-СХЕМА ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ МАШИНЫ

Рассмотрим теперь, как работает электронная цифровая вычислительная машина. Для решения какой-либо задачи последнюю разделяют на ряд отдельных арифметических операций (сложение, вычитание, умножение и деление) и составляют программу вычислений, которую нужно выполнить последовательно шаг из шагом.

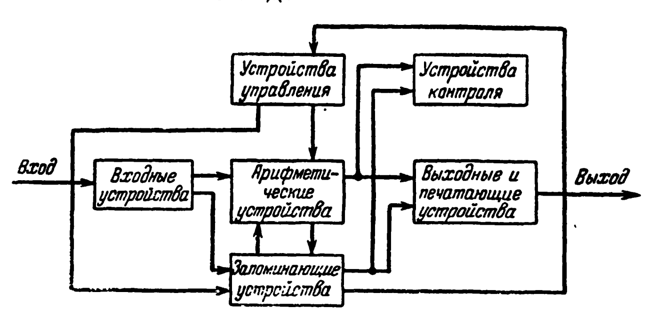


Рис. 4. Блок-схема цифровой машины.

Чтобы машина выполняла эти операции автоматически в требуемом порядке, в нее подаются соответствующие команды. Каждая команда указывает, какая арифметическая операция и с какими числами должна производиться, откуда, из какой ячейки машины следует взять эти числа и куда записать результат вычисления. Программа вводится в машину в виде инструкции, записанной, например, на магнитной ленте при помощи определенного кода. Блок-схема электронной цифровой машины показана на рис. 4.

Машина состоит из шести блоков: входного, арифметического и запоминающего устройств, устройств управ-

ления и контроля и, наконец, выходного и печатающего устройств.

Посредством входного устройства в машину вводятся исходные числовые данные и инструкция с программой вычислений. Эти данные записываются на магнитной ленте, бумажной ленте с перфорированными отверстиями и т. п.

Арифметическое устройство, где производятся элементарные арифметические и логические операции, состоит, в основном, из одного элемента — сумматора.

Запоминающее устройство служит для хранения кодов чисел и команд; в нем записываются результаты промежуточных вычислений, выполненных машиной. Коды чисел и команд, хранящиеся в запоминающем устройстве, могут выбираться из нужной ячейки памяти и направляться в другие устройства машины. Для выборки нужного кода числа и команды, в инструкции указывается «адрес» ячейки памяти, представляющий собой код номера ячейки. Например, для выполнения машиной операции сложения двух чисел А и Б в инструкции должны быть даны три адреса: адреса ячеек, из которых выбираются числа А и Б, и адрес «свободной» ячейки, куда следует поместить результаты сложения.

Вычислительная «мощность» машины во многом определяется количеством ячеек памяти или емкостью запоминающего устройства. Чтобы машина действовала быстро, время выборки чисел и команд из ячеек памяти должно быть весьма малым, — не более нескольких микросекунд.

Устройства управления машиной обеспечивают автоматическое выполнение всех вычислений по заданной программе. Они производят выборку чисел из ячеек памяти, дают команду требуемой арифметической операции, отсылают результат вычислений в запоминающее устройство, выбирают следующую команду, выдают результат вычисления и т. д.

Устройство контроля позволяет в процессе вычислений контролировать как работу машины в целом, так и работу ее отдельных узлов и элементов. Контроль производится с пульта управления, где имеется соответствующая сигнализация, сообщающая о возникающих в машине неисправностях. Для обнаружения случайных ошибок вычислений существуют различные методы по-

верочных вычислений на машине при помощи специальных программ.

Выходное и печатающее устройства служат для записи полученных результатов вычислений на магнитную ленту или фотопленку и для последующей печати на электрической пишущей машинке таблицы результатов вычислений. Возможно также получение результатов вычислений в виде графика.

4. ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ[1]

Для решения какой-либо задачи на электронной цифровой машине необходимо иметь математические формулы или уравнения, указывающие, какие операции должны быть выполнены и с какими начальными условиями и параметрами нужно оперировать, а также программу или план решения задачи. Программа решения должна быть закодирована в двоичной системе (так же, как и числа), введена в машину и запоминаться в ней.

Запоминание команд, передача их из одного устройства машины в другое, расшифровка и другие операции с ними должны выполняться в машине так же быстро, как и сами арифметические операции. Поэтому для операций с командами используются те же запоминающие, арифметические и другие устройства, что и для операций с кодами чисел.

Ввод программы в машину осуществляется с помощью устройств ввода, выполняемых в виде перфорированной ленты, перфокарт или магнитной ленты. Так как такие устройства действуют сравнительно медленно, то они служат только для первоначального ввода программы в быстродействующее запоминающее устройство машины. Оттуда команды берутся для выполнения элементарных арифметических или логических операций.

Команда для выполнения арифметической операции состоит из нескольких частей или кодов. В первой ее части указывается код операции, которую нужно произвести, а во второй — адреса ячеек запоминающего устройства.

Применяются главным образом три типа команд: одноадресная, двухадресная и трехадресная.

---

[1] В составлении § 4, 27, 30 и 32 принимал участие инж. Г. А. Хавкин.

В одноадресной команде, кроме кода операции, указывается адрес только одной ячейки запоминающего устройства. Поэтому для выполнения одной арифметической операции требуется три одноадресных команды. Первая команда выбирает из запоминающего устройства одно число, вторая — второе, третья — указывает, в какую ячейку запоминающего устройства нужно поместить результат.

В двухадресной команде указываются адреса двух ячеек запоминающего устройства, из которых нужно взять числа. Результат вычисления сохраняется в арифметическом устройстве. Если же результат вычислений требуется передать в запоминающее устройство, то необходима отдельная команда.

Двухадресная команда может быть использована и иначе. В первый ее адрес можно записать код номера ячейки, откуда должно быть взято число для выполнения арифметической операции, а другой использовать для выборки следующей команды. Второе число при этом помещается в регистре арифметического устройства, как результат предыдущего вычисления.

Двухадресная система команд весьма экономична и широко применяется в специализированных вычислительных машинах.

В трехадресной команде первые два адреса указывают ячейки запоминающего устройства, откуда надо взять числа для выполнения арифметической операции, а третий — куда нужно поместить результат вычисления.

Скорость вычислений машины во многом зависит от выбранного типа команды. Так, при трехадресной команде для выполнения одной арифметической операции требуется только одна команда и оба числа выбираются из запоминающего устройства одновременно. При одноадресной команде для выполнения одной арифметической операции требуется три команды и числа три раза последовательно выбираются из запоминающего устройства и результат отправляется туда же.

Однако полученный результат вычислений, как правило, не требуется отправлять в запоминающее устройство, так как он нужен для следующей операции, и в большинстве случаев одноадресная команда вполне достаточна. Поэтому скорость выполнения операций с

одноадресными командами может быть почти такая же, как и с трехадресными. Одноадресная команда более экономична, чем трехадресная. Она имеет меньшее количество кодов и требует меньшей емкости запоминающего устройства при одном и том же количестве команд в программе.

Устройство управления командами состоит из трех основных частей: регистра, счетчика номеров команд, дешифратора и управляющего блока. Регистр сохраняет команды до конца выполнения машиной заданной операции. В дешифраторном и управляющем блоке заданная команда расшифровывается и преобразуется в серию управляющих импульсов, которые посылаются в запоминающее и арифметическое устройство для настройки машины на выполнение заданной операции. Счетчик номеров команд вызывает следующую команду из запоминающего устройства после выполнения одной программы. Для этого после выполнения команды в него посылается импульс, который прибавляется к числу, находящемуся в счетчике. Исключение составляют команды, после которых происходит нарушение порядка следования команд, о чем будет сказано ниже.

Рассмотрим пример решения простой задачи при программировании одноадресными командами. Ограничимся пока лишь самыми необходимыми операциями, указанными в табл. 4.

Таблица 4

Номера команд по порядку	Код команды в двоичной системе	Наименование операции	Символ операции
1	001	Сложить два числа	+
2	010	Вычесть	—
3	011	Умножить	×
4	100	Очистить регистр арифметического устройства и сложить	+
5	101	Запомнить	З
6	110 т	Передать управление	П
7	111	Передать управление при минусе	П —
8	000	Остановить	О

При первых трех командах выполняется одна из соответствующих им операций с числами, одно из которых уже находится в регистре арифметического устройства, а другое в ячейке запоминающего устройства (номер ячейки указан в адресной части команды). После выполнения операции результат вычислений сохраняется в регистре арифметического устройства, в том числе и в случае, когда он передается в запоминающее устройство. Ввиду этого для освобождения регистра (установления его на нуль) необходима особая команда 4 «очистить и сложить». После нее регистр арифметического устройства устанавливается на нуль и в него вводится код числа из запоминающего устройства (складывается с числом «нуль», установленным в регистре). Для перехода от одной команды к другой в счетчик команд добавляется единица и вызывается следующая по порядку команда.

При команде 5 «запомнить» результат вычислений, имеющийся в регистре арифметического устройства, не только сохраняется в нем, но и передается для более длительного хранения в запоминающее устройство.

В случае команды 6 «передать управление» происходит передача адреса, указанного в этой команде, в счетчик команд, который при этом предварительно устанавливается на нуль. В этом случае добавление единицы в счетчик программы не происходит, и машина выполняет ту операцию, которая указана в адресе команды 6. Таким образом осуществляется изменение последовательности команд, идущих по порядку номеров, и можно вызвать любую команду.

Команда 7 «передать управление при минусе» позволяет в зависимости от знака результата вычитания, выполняемого при этой команде, направить дальнейшие вычисления по двум путям. Если разность получается со знаком плюс, то в счетчик команд добавляется единица, и происходит переход к следующей команде. Если же знак разности отрицателен, вызывается операция, указанная в адресе этой команды (точно так же, как при команде 6).

Таким образом, в зависимости от результата можно автоматически изменять программу решения задачи, т. е. осуществить одну из логических операций.

При команде 8 «остановить» вычисления в машине останавливаются.

Поясним применение этих команд примером. Положим, что требуется вычислить значение трехчлена ax^2+bx+c при различных значениях переменного x и заданных коэффициентах a, b и c, которые хранятся в ячейках запоминающего устройства под номерами $n+1$, $n+2$, $n+3$. Здесь n — число команд, необходимое для одного цикла вычислений данной задачи, т. е. для вычисления многочлена при изменении независимого переменного x на один шаг. После каждого цикла решения задачи снова возвращаются к первой команде, но уже с другим значением x, и снова повторяют эти же команды столько раз, сколько требуется вычислить значение трехчлена для различных величин x.

Так как в начале составления программы число n неизвестно, то номер первой ячейки обозначают через $n+1$, второй — $n+2$ и т. д. После определения числа n его подставляют в номер команды. Положим, что коэффициенты a, b, c, независимое переменное x и результаты решения задачи будут храниться в следующих номерах ячеек запоминающего устройства:

Номер ячейки (адрес)	Хранимое число
$n+1$	a
$n+2$	b
$n+3$	c
$n+4$	x
$n+5$	результат вычисления

Программа вычисления трехчлена будет иметь одноадресные команды, подаваемые в следующем порядке:

№ команды	Код операции	Операция	Адрес ячейки	Примечания
1	100	+	$n+1$	Передача a в арифметическое устройство
2	011	×	$n+4$	Умножение $a \cdot x$
3	001	+	$n+2$	$ax+b$
4	011	×	$n+4$	$(ax+b) \cdot x$
5	001	+	$n+3$	ax^2+bx+c
6	101	З	$n+5$	Передача результата в запоминающее устройство
7	000	О	000	Остановка вычислений

Как видно из приведенной таблицы, для выполнения одного цикла (или шага) вычисления требуется иметь всего лишь семь команд, после чего цикл вычислений повторяется сначала. Таким образом, $n+1=7$ или $n=6$.

Вследствие цикличности повторения одних и тех же команд можно с помощью небольшого числа их производить большое число последовательных вычислений, которое может достигать нескольких десятков тысяч и больше. Если бы не было циклического повторения, то для каждой операции пришлось бы иметь отдельную команду, а следовательно, и весьма большое их число.

При решении сложных задач отдельные их части, например вычисление синуса, квадратного корня и т. д., могут выполняться по заранее составленным стандартным подпрограммам, хранящимся в запоминающем устройстве машины. Управление машиной в этом случае временно передается этим подпрограммам с тем, чтобы по окончании вычислений по ним снова вернуться к основной программе. При применении стандартных подпрограмм составление общей программы вычислений упрощается и сводится к сравнительно небольшому количеству команд.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

5. ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Основными типовыми элементами электронных цифровых машин являются электронный ключ или вентиль и запоминающая ячейка (триггер).

Электронные ключи используются в машине для управления различными цепями, а также для выполнения основных логических операций, сокращенно называемых операциями «И», «ИЛИ», «НЕТ». Действуют такие ключи с весьма большой скоростью: время включения или переключения цепей составляет всего лишь несколько десятых или сотых долей микросекунды, тогда как самое быстродействующее электромагнитное реле требует для этого 10 — 20 *мсек*.

Операцию «И» выполняет электронный ключ, пропускающий импульс только при совпадении его во вре-

мени с другим управляющим импульсом. Поэтому схему для операции «И» часто называют схемой совпадений. Условно такой электронный ключ может быть представлен, как показано на рис. 5,*а*. Он пропускает импульс *А*, тогда когда на второй его вход подан управляющий импульс *Б*. Если же имеется только один импульс *А* или *Б*, то импульс на выходе электронного ключа отсутствует. Таким образом, импульсы на выходе ключа появляются только при совпадении во времени импульсов *А* и *Б*.

Схема электронного ключа может быть составлена и таким образом, что под действием так называемого

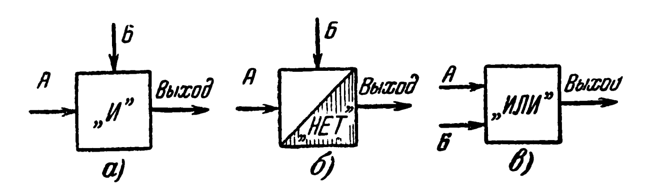


Рис. 5. Основные логические элементы.

«запрещающего импульса» он будет запираться (рис. 5,*б*). В этом случае при совпадении импульсов *А* и *Б* импульс на выходе ключа отсутствует. Если же запрещающий импульс отсутствует, то второй импульс свободно проходит на выход. Подобная схема выполняет логическую операцию «НЕТ».

Разделительные схемы (рис. 5,*в*), выполняющие логическую операцию «ИЛИ», дают импульс на выходе при появлении импульса на одном или нескольких входах.

Запоминающая ячейка, или триггер, представляет собой быстродействующее электронное реле, имеющее два положения равновесия, соответствующее коду «1» или коду «0». Триггер широко используется как счетная ячейка в электронных счетчиках импульсов, для переключения цепей и для запоминания кодов чисел.

Из упомянутых выше простых логических схем «И», «ИЛИ», «НЕТ» и триггера могут быть составлены более сложные логические узлы электронной машины: многопозиционные электронные переключатели (коммутато-

ры), сумматоры, электронные счетчики импульсов, сдвигающие регистры для хранения и сдвига кодов чисел при арифметических операциях, схемы сравнения кодов чисел и другие.

6. ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

Простейшими электронными ключами являются устройства с полупроводниковыми или ламповыми диодами. Для идеальной работы ключа, выполненного на диоде, необходимо, чтобы его обратное сопротивление было бесконечно, а прямое — равным нулю. Реальные характеристики германиевых и ламповых диодов практически достаточно близко соответствуют этому условию. Так, прямое сопротивление германиевого диода составляет 10—250 *ом,* а обратное достигает 1 *Мом* и более.

На рис. 6, *а* приведена схема электронного ключа с одним диодом *Д*. Направление тока через диод показано стрелкой. На вход подается импульс напряжения $U_{вх}$ только одной полярности. При отсутствии управляющего напряжения U_y диод *Д* открыт и через него протекает ток от источника входного напряжения $U_{вх}$. Так как сопротивление R выбирается во много раз больше сопротивления цепи диода, то почти все подводимое напряжение падает на сопротивление R и напряжение $U_{вых}$ мало. Поэтому $U_{вых}$, действующее при отсутствии управляющего напряжения будем принимать за начало отсчета.

Если же включить управляющее напряжение U_y с указанной на схеме полярностью, то диод будет закрыт и на выходе устройства появится напряжение, близкое по величине к напряжению $U_{вх}$. Таким образом, в момент включения управляющего напряжения на выходе устройства возникает скачок напряжения, т. е. имеется более высокий уровень напряжения, чем при отсутствии управляющего сигнала. Аналогичная схема может быть составлена и для случая, когда входные импульсы имеют обратную полярность.

Практические схемы электронного ключа с одним германиевым диодом показаны на рис. 6, *б* и *в*. В первой из них диод *Д* при отсутствии управляющего напряжения U_y заперт напряжением E, приложенным к его катоду

через делитель напряжения R_1R_2. Когда подводится управляющее напряжение, то при отрицательном импульсе входного напряжения $U_{вх}$ через диод проходит ток и на выходе устройства появляется отрицательный импульс $U_{вых}$. Сопротивления R_3 и R_4 совместно с сопротивлениями R_1 и R_2 образуют делитель напряжения $U_у$, когда через диод проходит ток. Конденсаторы C_1 и C_2 служат для дифференцирования входного и выходного напряжения с целью получить более короткий пусковой импульс.

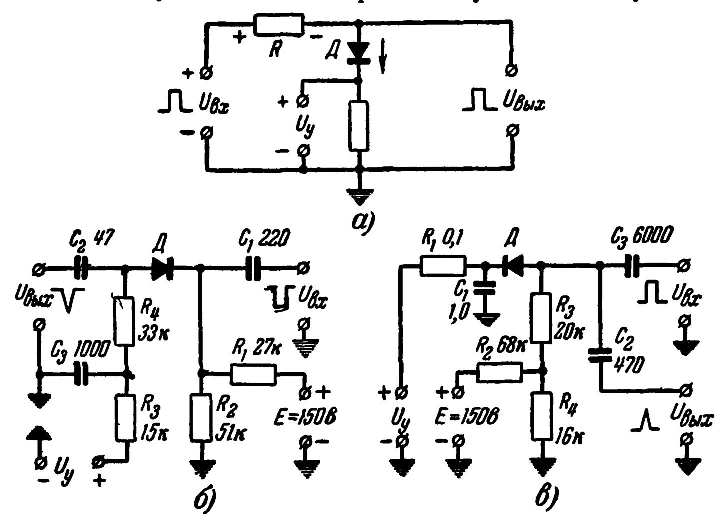


Рис. 6. Схемы электронных ключей с одним германиевым диодом.

Конденсатор C_3 совместно с сопротивлением R_3 образует фильтр для импульсов, возникающих на выходе триггера при переходе его из одного состояния в другое (триггер обычно используется в качестве источника управляющего напряжения). В результате управляющим является только установившееся напряжение на выходе триггера.

В схеме рис. 6, *в* диод *Д* замыкает импульс входного напряжения через конденсатор C_1 и не пропускает его на выход, если управляющее напряжение $U_у$ мало. При высоком уровне управляющего напряжения диод заперт и входной импульс положительной полярности через конденсатор C_2 проходит в выходную цепь.

Для включения и выключения напряжений различной полярности применяется электронный ключ с двумя диодами (рис. 7). В зависимости от полярности входных импульсов они шунтируются одним из диодов. Так, для передачи на выход входного импульса указанной на схеме полярности управляющее напряжение необходимо подать на зажимы *А* и *Б*. При обратной полярности импульсов управляющее напряжение подается на зажимы *В* и *Г*.

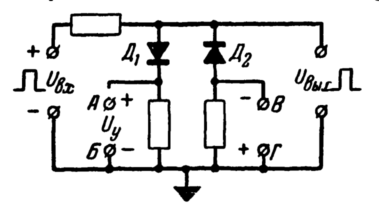


Рис. 7. Электронный ключ для включения и выключения импульсов различной полярности.

В ключах такого типа соотношение между напряжениями на выходе, соответствующими открытому и закрытому состоянию диодов $Д_1$ или $Д_2$, определяется только отношением их прямого и обратного сопротивления.

Широкое распространение получили электронные ключи, собранные по схеме, с общим сопротивлением R_1

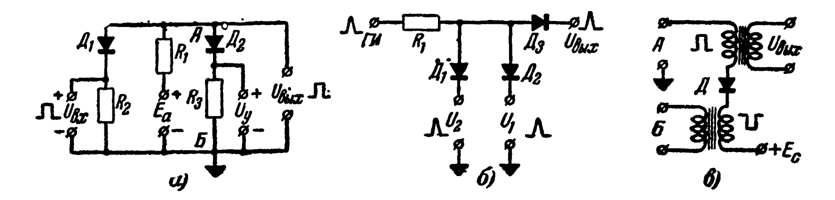


Рис. 8. Схемы совпадений.

(рис. 8) в анодной цепи диодов. Напряжение $U_{вх}$ запирает диод $Д_1$ (рис. 8, *а*), а управляющее напряжение $U_у$ — диод $Д_2$. Таким образом, оба диода закрыты, и напряжение $U_{вых}$ на выходе ключа равно E_a. Если хотя бы одно из напряжений $U_{вх}$ или $U_у$ отсутствует, соответствующий диод оказывается открытым и напряжение $U_{вых}$ уменьшается, так как один из диодов замыкает цепь *АБ* через включенное последовательно с ним сопротивление и большая часть анодного напряжения падает на сопротивлении R_1.

Для нормальной работы такого электронного ключа необходимо, чтобы $U_{вх} > E_a$, $U_y > E_a$ и $R_1 \gg R_2$ и R_3.

Преимуществом его является резкое возрастание напряжения на выходе в момент совпадения обоих импульсов $U_{вх}$ и U_y.

Описанная схема совпадений часто осуществляется с временной синхронизацией импульсов на ее выходе. С этой целью вместо источника постоянного тока E_a включают генератор импульсов *ГИ* стандартной частоты (рис. 8, *б*). При отсутствии напряжений U_1 и U_2 диоды $Д_1$ и $Д_2$ открыты, и импульсы *ГИ* проходят через высокоомное сопротивление R_1, вследствие чего напряжение на выходе схемы близко к нулю. Когда же диоды $Д_1$ и $Д_2$ запираются положительными импульсами U_1 и U_2, на выходе появляются положительные импульсы напряжения от генератора *ГИ*. Источники напряжений U_1 и U_2 почти не нагружаются. Объясняется это тем, что диоды для них не проводят ток. Схема весьма экономична, так как ток через сопротивление и диоды протекает только во время импульсов генератора *ГИ*.

Недостатком описанных схем совпадений является то обстоятельство, что нагрузочное сопротивление на выходе схемы должно быть достаточно велико и необходимо предварительное усиление выходного напряжения для использования его в последующих схемах. С целью увеличения выходной мощности можно использовать схему совпадений (рис. 8, *в*) с трансформатором в цепи диода *Д*. Импульс на выходе будет иметь место только при совпадении импульсов на входах *А* и *Б*.

Действительно, если нет импульса на входе *Б*, то диод *Д* заперт напряжением смещения E_c. Он отпирается импульсом напряжения на входе *Б*, который компенсирует действие запирающего напряжения $+E_c$. При этом импульс на входе *А* проходит через обмотку трансформатора и создает на выходе импульс напряжения.

В рассмотренных схемах диоды могут быть заменены триодами (рис. 9). Преимущество схем с триодами заключается в том, что входное и управляющее напряжения в этом случае могут быть значительно меньшими, чем при применении диодов, и потребляемая входными цепями мощность ничтожно мала.

При отсутствии управляющих напряжений на входах

1 и *2* оба триода открыты и проводят ток. Так как их внутреннее сопротивление для постоянного тока во много раз меньше сопротивления R_1, напряжение на выходе оказывается весьма малым, значительно меньшим, чем E_a. Если отрицательное напряжение подать только на один из входов, то напряжение $U_{вых}$ все равно останется весьма малым. Связано это с тем, что внутреннее сопротивление одного триода значительно меньше, чем R_1, и большая часть напряжения E_a будет падать на этом сопротивлении. При одновременной же подаче отрицательных напряжений на входы *1* и *2* оба триода

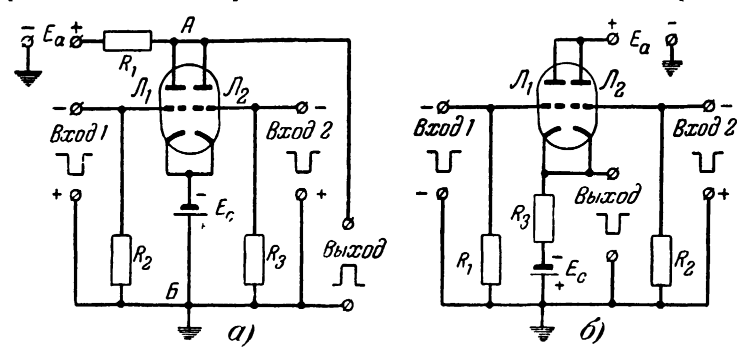


Рис. 9. Схема электронного ключа с триодами.

будут заперты и напряжение $U_{вых}$ возрастет до значения E_a. Таким образом, когда отрицательные импульсы действуют на обоих входах одновременно, на выходе имеет место положительный импульс. С целью еще большего уменьшения сопротивления участка *А* — *Б* при открытых триодах на сетки их подается положительное напряжение смещения *Е*.

Если через нагрузку на выходе ключа должен протекать сравнительно большой ток, то ключ целесообразно собрать по схеме рис. 9,*б* с катодными повторителями. При отсутствии напряжения на обоих входах устройства оба триода открыты. Если отрицательное напряжение подать на сетку только одного из триодов, то напряжение $U_{вых}$ уменьшится незначительно. Однако при подаче отрицательного напряжения на сетки обоих триодов последние одновременно запираются, и напряжение на выходе падает до нуля. Это значит, что на

выходе произойдет скачок напряжения отрицательной полярности. Таким образом, в отличие от предыдущей схемы здесь полярность импульсов напряжения на выходе ключа совпадает с полярностью импульсов напряжения на входе. Это часто имеет существенное значение.

Пример схемы несовпадений (логической схемы «НЕТ»), в которой в качестве элемента используется схема совпадений, дан на рис. 10. При отсутствии сигналов на входах *1* и *2* или наличии сигнала только на одном из входов, диод $Д_3$ заперт напряжением смещения

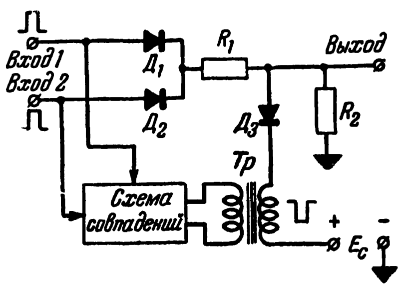


Рис. 10. Схема несовпадений.

E_c. При этом на выходе действует напряжение от одного из входных сигналов. В случае совпадения обоих сигналов схема совпадений через трансформатор *Тр* отпирает диод $Д_3$, компенсируя напряжение смещения E_c напряжением, возникающим во вторичной обмотке трансформатора. В результате диод $Д_3$ проводит ток и цепь выхода замыкается на малое сопротивление. При этом почти все входное напряжение падает на сопротивлении R_1 и напряжение на выходе оказывается близким к нулю.

Схемы совпадений и несовпадений могут быть объединены в один узел, который по желанию может быть использован как схема совпадений, так и несовпадений (рис. 11). На входы *1*, *2* и *3* подаются импульсы для схемы совпадений. Вход *1* используется при связи с источниками импульсов по переменному току, а входы *2* и *3* — при непосредственной связи (последний через разделительный диод). При совпадении импульсов на входах *1* — *3* на выходе образуется положительный импульс. Вход *4* служит для подачи запрещающего импульса отрицательной полярности. При этом даже в слу-

чае совпадения всех импульсов сигнал на выходе отсутствует.

Диоды $Д_6$ и $Д_7$ служат для ограничения выходного сигнала до $+10$ и -30 *в*. Если, например, напряжение в точке *A* превысит $+10$ *в*, то откроется диод $Д_7$, нормально запертый напряжением смещения $+10$ *в*, и замкнет выходную цепь. Диод $Д_6$ таким образом ограничивает нижний предел напряжения. Он нормально открыт и поддерживает потенциал точки *A* на уровне -30 *в*.

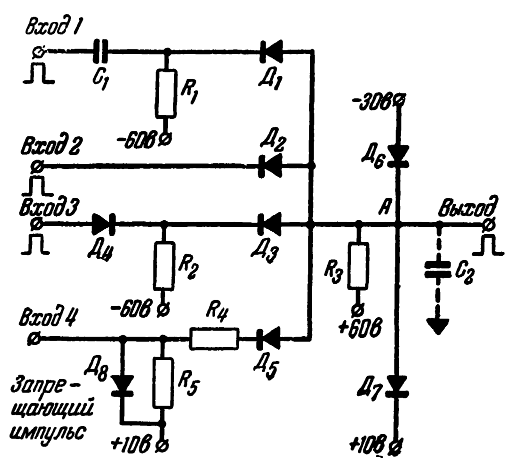


Рис. 11. Схема совпадений и несовпадений.

Этот выходной потенциал сохраняется, если хотя бы на одном из входов *1 — 3* отсутствует положительный импульс.

Устройство работает следующим образом. Диоды $Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$ при отсутствии сигнала проводят ток от источника $+60$ *в* к источнику -60 *в* и на выходе устройства имеет место напряжение -30 *в*. В случае совпадения сигналов на входах *1 — 3* диоды $Д_1 - Д_3$ запираются и на выходе возникает положительный импульс, возрастающий до $+10$ *в* (диод $Д_6$ запирается, а $Д_7$ проводит ток). Появление сигнала запрещения на входе *4* препятствует образованию импульса на выходе в момент совпадения импульсов на входах *1 — 3*. Действительно, при наличии отрицательного импульса на входе *4* диод $Д_5$ проводит ток, и потенциал на выходе не

может возрастать. Диод $Д_8$ служит для ограничения напряжения в цепи входа *4*.

Описанная схема применяется для коммутации цепей управления и как стандартный блок вычислительных устройств.

7. ТРИГГЕРНАЯ ЯЧЕЙКА

Триггерная ячейка, или, что то же, электронное реле, представляет собой усилитель импульсов с положительной обратной связью. Благодаря этому значительно ускоряется процесс переброса триггера из одного устойчивого положения в другое.

Различают триггер с двумя и с одним устойчивым положениями равновесия. В первом случае триггер под воздействием пускового импульса переходит из одного фиксированного положения равновесия в другое, в котором он остается сколь угодно долго и после исчезновения импульса. Возврат в исходное состояние происходит лишь после следующего пускового импульса. Во втором случае после исчезновения пускового импульса триггер через определенное время, зависящее от параметров схемы, снова возвращается в исходное состояние.

Триггер с одним устойчивым состоянием равновесия называют одновибратором, ждущим, или запертым, мультивибратором. Оба типа этих триггеров имеют много общего с мультивибраторами, которые являются самовозбуждающимися генераторами импульсов.

Триггер с двумя устойчивыми состояниями равновесия (рис. 12) содержит два триода $Л_1$ и $Л_2$, связанных между собой посредством сопротивлений R_5 и R_6. Положим, что вначале триод $Л_1$ открыт, а триод $Л_2$ заперт. Напряжение U_a на аноде открытого триода $Л_1$ меньше напряжения U_{02} на аноде запертого триода $Л_2$, так как анодный ток I_{a1} триода $Л_1$, протекая через сопротивление R_2, вызывает на нем падение напряжения, равное $I_{a1}R_2$. Между сеткой триода $Л_2$ и землей действует положительное напряжение, равное

$$U_{c2} = U_{a1} \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5}.$$

Для того чтобы триод $Л_2$ был заперт, несмотря на наличие положительного напряжения на сетке относи-

тельно земли, общий потенциал катодов $Л_1$ и $Л_2$ должен превышать это напряжение. Потенциал катодов определяется падением напряжения на сопротивлении R_7, образующемся в результате того, что через него протекает анодный ток открытого триода. В рассматриваемый момент времени

$$U_к = I_{a1} R_7.$$

Однако, как видно из схемы, отрицательное напряжение $U_к$ через сопротивление R_1 подается также и на

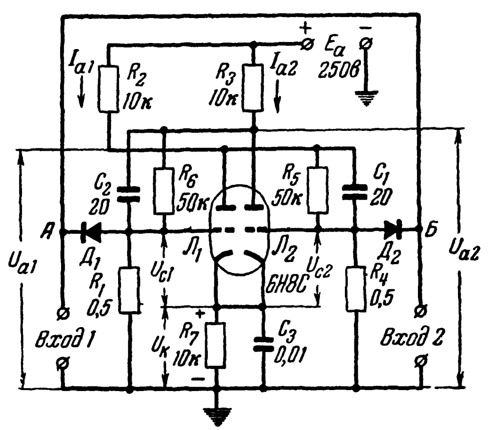


Рис. 12. Триггерная ячейка

сетку триода $Л_1$. Но сюда же приложено положительное напряжение с анода закрытого триода $Л_2$, равное (из-за появления сеточного тока в открытой лампе)

$$U_{c1} = U_{a2} \cdot \frac{R_{ic} + R_7}{R_{ic} + R_7 + R_6},$$

где R_{ic} — внутреннее сопротивление постоянному току участка сетка — катод открытой лампы.

Напряжение U_{a2} на аноде запертого триода велико и близко к E_a. Поэтому напряжение U_{c1} между сеткой и катодом триода $Л_1$ положительно и в его анодной цепи протекает ток.

Таким образом, начальное состояние схемы, при котором триод $Л_1$ открыт, а $Л_2$ закрыт, является устой-

чивым, причем благодаря связи между триодами через сопротивления R_5 и R_6 это состояние удерживается сколь угодно долго.

Рассмотрим теперь, что произойдет, если на сетку открытого триода $Л_1$ через диод $Д_1$ подать отрицательный импульс $U_{вх}$, достаточный для того, чтобы закрыть его. При уменьшении анодного тока I_{a1} напряжение U_{a1} на аноде триода $Л_1$ резко возрастает, и, следовательно, увеличится положительное напряжение на сетке триода $Л_2$. Это вызовет появление тока I_{a2} в анодной цепи триода $Л_2$, вследствие чего уменьшится анодное напряжение U_{a2}. Последнее, в свою очередь, приведет к уменьшению положительного напряжения на сетке триода $Л_1$ и к еще большему уменьшению его анодного тока и т. д. В результате такого лавинообразного процесса уменьшения анодного тока триода $Л_1$ и увеличения анодного тока триода $Л_2$, возникающего после подачи внешнего пускового импульса $U_{вх}$, триод $Л_1$ запирается, $Л_2$ открывается, и схема переходит в новое устойчивое состояние равновесия Если отрицательный импульс снова подать на сетку открытого триода $Л_2$, то, так же, как и в первом случае, произойдет переброс схемы в первоначальное положение, при котором триод $Л_1$ будет открыт, а $Л_2$ — закрыт.

Таким образом, имеются два устойчивых состояния, в которых может находиться триггер: одно с открытым триодом $Л_1$ и закрытым $Л_2$ и второе, наоборот, с закрытым триодом $Л_2$ и открытым $Л_1$. Вследствие лавинообразного характера изменения напряжений на сетках триодов при подаче пускового импульса время переброса или время срабатывания триггера весьма мало.

С целью сокращения времени переброса триггера параллельно сопротивлениям R_5 и R_6 включены конденсаторы C_1 и C_2, представляющие сравнительно малое емкостное сопротивление для проходящего через них импульса. Они уменьшают время, необходимое для заряда паразитной емкости сетка-катод триодов. Действительно, в отсутствии этих конденсаторов при изменении потенциала анода триода $Л_1$ заряд емкости сетка-катод триода $Л_2$ происходит только через сравнительно большое сопротивление R_5. Если же конденсатор C_1 включен, то, так как его сопротивление для импульса меньше, чем

R_5, потенциал сетки триода $Л_2$ нарастает быстрее и общее время переброса реле уменьшается. Очевидно, чем больше емкости конденсаторов C_1 и C_2, тем меньшее сопротивление они представляют для проходящего импульса. Однако эти емкости не должны быть слишком большими, так как тогда потребуется большое время для их заряда и разряда, что может привести к непрерывной генерации импульсов (режим мультивибратора).

Триггер с двумя устойчивыми состояниями равновесия может иметь один или два входа. В первом случае оба входные зажима *А* и *Б* соединены вместе, как показано на схеме. Во втором случае цепь *А — Б* разомкнута и пусковой импульс подается только на вход *1*. Для возвращения ячейки в первоначальное состояние необходимо подать на вход *2* отрицательный импульс. Вследствие наличия диодов $Д_1$ и $Д_2$ импульсы воздействуют только на сетку открытого триода. Кроме того, применение диодов дает еще следующее преимущество: диод работает только в момент прохождения пускового импульса на сетку открытого триода. Как только этот триод закрывается, диод запирается и автоматически отключает источник пусковых импульсов, благодаря чему последний нагружается лишь кратковременно. Далее, если пусковой импульс имеет прямоугольную форму, то на триггер не воздействует задний фронт импульса, который мог бы вызвать обратный переброс реле в первоначальное положение (т. е. двухкратное срабатывание реле при одном импульсе). То обстоятельство, что диод пропускает только отрицательные импульсы, позволяет производить последовательное соединение ячеек, не опасаясь влияния положительных импульсов.

В качестве диодов $Д_1$ и $Д_2$ очень удобно использовать германиевые диоды

8. ДИНАМИЧЕСКИЕ ТРИГГЕРЫ

Динамический триггер в отличие от рассмотренного ранее статического, запоминая код «1», дает на выходе непрерывную последовательность импульсов. При коде «0» импульсы на выходе триггера отсутствуют. Так как динамический триггер сам является генератором импульсов, применение его вместо статического триггера позволяет создать более экономичные универсальные вычис-

лительные устройства, обладающие высокой скоростью работы.

Блок-схема динамического триггера показана на рис 13. Триггер имеет два входа: вход *1* предназначен для импульса, соответствующего коду «1», а вход *2* — для импульса, соответствующего коду «0». Входной импульс кода «1» — через разделительный диод $Д_1$ поступает в схему совпадений *2* Последняя выдает импульс в момент совпадения его со стандартным «синхронизирующим» импульсом, идущим с определенной частотой от специального генератора импульсов *ГИ* Так как синхро-

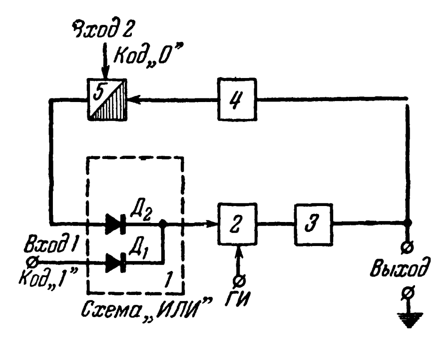


Рис. 13 Блок-схема динамического триггера

низирующие импульсы имеют определенную, например прямоугольную, форму, то схема совпадений восстанавливает по форме и фазе входной импульс.

После усиления входного импульса усилителем *3* он запоминается на некоторое время запоминающим элементом *4*. В качестве такого элемента используется линия задержки или конденсатор, который заряжается импульсом и через некоторое время разряжается, образуя импульс на выходе. Применяется также электромагнитная линия задержки.

Импульс от запоминающего элемента проходит далее на схему несовпадений *5*. Она пропускает его обратно на вход триггера все время, пока нет запрещающего импульса. При этом импульс от запоминающего элемента проходит через разделительный диод $Д_2$, схему совпадений *2*, снова усиливается усилителем *3* и поступает на выход и в запоминающий элемент. Таким образом, благодаря обратной связи в цепи динамиче-

ского триггера будет каждый раз проходить импульс, восстанавливаясь по форме, амплитуде и фазе за счет синхронизирующего импульса. Подобная рециркуляция импульсов происходит до тех пор, пока не придет запрещающий импульс, соответствующий коду «0». Он закроет электронный ключ *5*, и рециркуляция импульсов

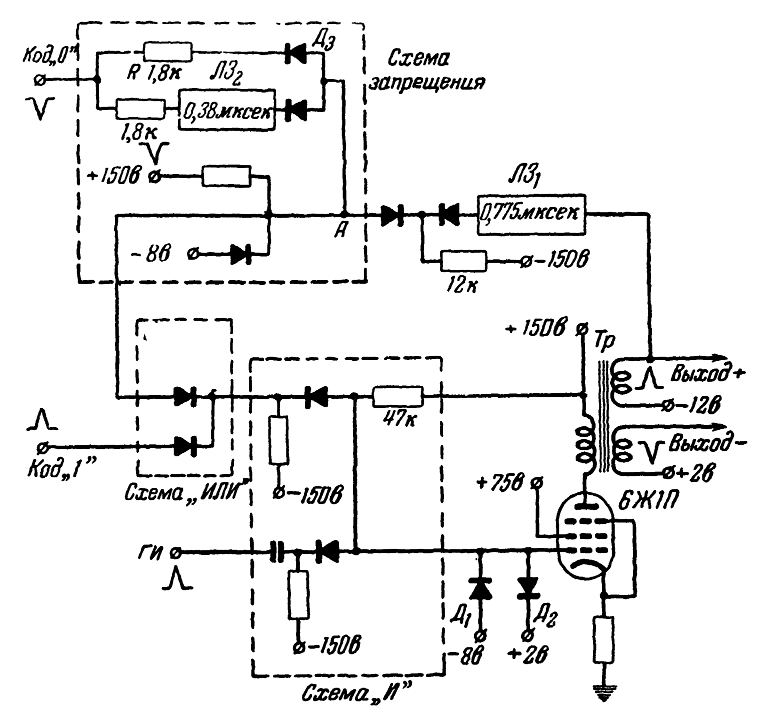


Рис. 14. Принципиальная схема динамического триггера с линией задержки.

прекратится. В дальнейшем будет запоминаться новый код вместо прежнего, который как бы «стирается» закрытым ключом схемы несовпадений *5*, обрывающим цепь обратной связи.

Динамический триггер может быть осуществлен на одной электронной лампе вместо двух, применяемых в статическом триггере. На рис. 14 представлена схема динамического триггера на пентоде 6Ж1П. В анодной цепи лампы включен миниатюрный трансформатор *Тр*,

выполненный на тороидальном сердечнике из оксифера. Применение трансформатора позволяет разделить гальванически выходные цепи и получать импульсы различной полярности. В качестве запоминающего элемента в этой схеме применена линия задержки.

Источник импульса кода «1» положительной полярности соединен с управляющей сеткой лампы через диодную группу *1* (схема «ИЛИ») и схему совпадений (схема «И»). В момент совпадения импульса кода «1» с синхронизирующим импульсом *ГИ* схема совпадений выдает на управляющую сетку лампы импульс положительной полярности, триггер запускается и непрерывно генерирует импульсы. Положительная обратная связь осуществлена через линию задержки $ЛЗ_1$ на 0,775 *мксек*. Вместо нее в качестве запоминающего элемента в других схемах применяется конденсатор. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ служат для ограничения амплитуды напряжения на управляющей сетке лампы. Импульс отрицательной полярности, соответствующий коду «0», подается на схему запрещения. Эта схема не пропускает импульс обратной связи от линии задержки на управляющую сетку лампы, вследствие чего генерация импульсов прекращается. Для «расширения» запрещающего импульса кода «0», применяется линия задержки $ЛЗ_2$, задерживающая его на 0,37 *мксек*. Ввиду этого отрицательный импульс через 0,38 *мксек* снова появляется в точке *А* схемы запрещения, почти сливаясь с импульсом, прошедшим ранее через сопротивление *R* и диод $Д_3$.

На рис. 15,*а* приведена схема простого динамического триггера с запоминающим конденсатором *С*, подключенным к одному из входов схемы совпадений. Импульсы *ГИ* от генератора подаются на второй вход схемы совпадений. Сопротивления R_1 и R_2, составляющие делитель напряжения, подбираются такими, чтобы при отсутствии импульсов на обоих входах схемы совпадений потенциал в точке *А* был равен — 15 *в* и лампа была заперта. Потенциал на выходе источника *ГИ* при отсутствии импульсов также равен —15 *в*. Вследствие этого при наличии на входе *1* только одного положительного импульса, соответствующего коду «*1*», потенциал в точке *А* остается неизменным и равным —15 *в*. Если же на входы *1* и *2* схемы совпадений одновременно подаются положительные импульсы, запирающие

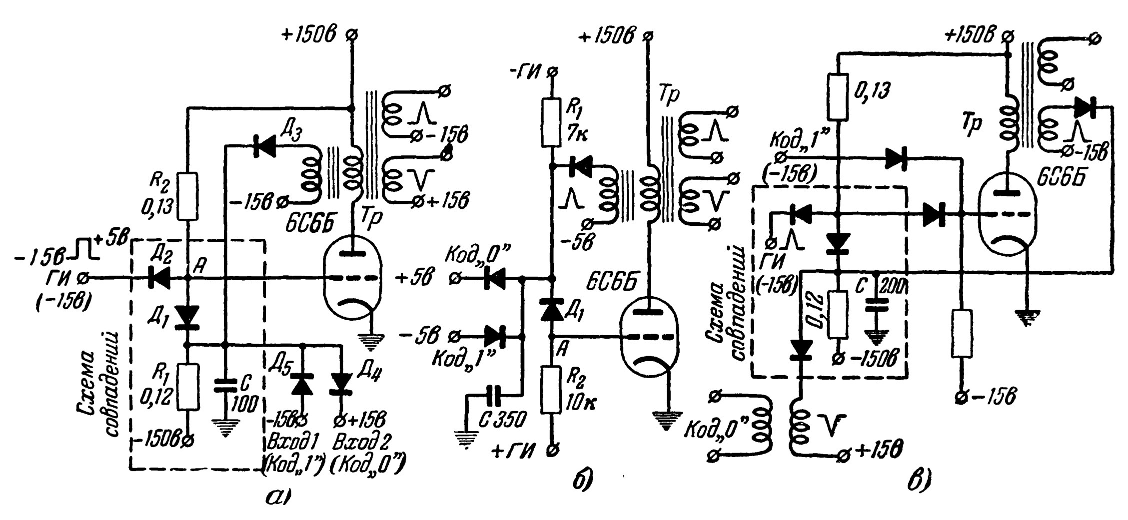


Рис. 15. Схемы динамического триггера с запоминающей емкостью.

диоды $Д_1$ и $Д_2$, то потенциал точки A становится положительным и лампа открывается. При этом во вторичной обмотке трансформатора $Тр$ появляется импульс положительной полярности, который через диод $Д_3$ и цепь обратной связи заряжает конденсатор C. Постоянная времени цепи R_1C выбирается такой, чтобы конденсатор C не успевал разряжаться в промежутках между импульсами $ГИ$. Тогда достаточно на конденсатор C подать извне один положительный импульс, соответствующий коду «1», чтобы в выходной обмотке трансформатора $Тр$ непрерывно с частотой $ГИ$ возникали импульсы.

Действительно, в промежутках между импульсами $ГИ$ конденсатор C не будет успевать разряжаться и диод $Д_1$ остается запертым. При каждом импульсе $ГИ$ диод $Д_2$ также оказывается запертым, и схема совпадений дает положительный импульс, отпирающий лампу.

Поэтому генерация импульсов на выходе схемы после поступления на вход импульса кода «1» будет продолжаться до тех пор, пока на другой вход не будет подан импульс отрицательной полярности, соответствующий коду «0». В последнем случае конденсатор C быстро разрядится через диод $Д_4$ и схема совпадений перестанет создавать положительные импульсы на сетке закрытой лампы при подаче импульсов $ГИ$. В результате генерация импульсов триггером прекратится. Диоды $Д_4$ и $Д_5$ ограничивают нижний и верхний уровни напряжения на конденсаторе C, так как на вход *1* подано постоянное напряжение смещения —15 *в*, а на вход *2* +15 *в*.

Амплитуда кодовых импульсов на входах *1* и *2*, а также импульсов $ГИ$ должна быть порядка 25 *в*. Форма входных импульсов и стабильность их амплитуды не имеет существенного значения. Импульс, соответствующий коду «1», может быть подан в любое время и неодновременно с импульсом $ГИ$. Импульс кода «0» должен быть задержан на некоторое время и не совпадать с импульсами $ГИ$. Если же требуется подавать код «0» в любое время, то необходима схема несовпадений.

Схема совпадений для импульсов $ГИ$ и кодовых импульсов может быть упрощена и выполнена на одном диоде, как это показано на рис. 15,*б*. Здесь двухполярные импульсы $ГИ$ подаются непосредственно на делитель сопротивлений R_1R_2. Потенциал точки A смещен

относительно нулевой (заземленной) точки и составляет — 5 *в*. Это достигается смещением средней точки двухполярного источника *ГИ* и выбором сопротивлений R_1 и R_2. Ввиду этого лампа 6С6Б закрыта. При подаче на вход *1* положительного импульса, соответствующего коду «1», диод $Д_1$ запирается, потенциал точки *А* становится положительным и лампа 6С6Б открывается. Запоминающий конденсатор *С*, заряженный положительно, поддерживает диод $Д_1$ в запертом состоянии до тех пор, пока не придет следующий импульс *ГИ*. Конденсатор разряжается через сопротивление R_1. В остальном устройство работает аналогично описанному.

Достоинством рассмотренных триггеров является, во-первых, малая потребная мощность. Это связано с тем, что в положении кода «0» лампа заперта и ее анодный ток равен нулю. В положении же кода «1» импульсы анодного тока имеют место только в моменты подачи синхронизирующих импульсов на схему совпадений. Во-вторых, импульсы, соответствующие коду «1» и коду «0», могут быть поданы на вход *1* в любое время и не совпадать с синхронизирующими импульсами. Отрицательная полярность импульсов может быть получена с помощью дополнительной обмотки анодного трансформатора предыдущего триггера. Третьим преимуществом описанных триггеров является то, что они содержат малое количество радиодеталей и только одну лампу.

Недостатком описанной схемы является необходимость иметь достаточно мощные импульсы на входе для заряда и разряда конденсатора, что усложняет ее применение. Этот недостаток может быть устранен (рис. 15,*в*), если импульс, соответствующий коду «1», подавать непосредственно на сетку лампы, а запоминающий конденсатор *С* заряжать только импульсом от выходной обмотки трансформатора *Тр*. Разряд же конденсатора и установка триггера в положение кода «0» производится так же, как и в предыдущей схеме. В остальном эта схема работает таким же образом, как и предыдущая. Существенным преимуществом схемы рис. 15,*в* является независимость ее работы от совпадения фазы напряжения входного импульса для кода «1» с фазой импульсов *ГИ*, а также высокое сопротивление для входного импульса.

Описанные схемы динамических триггеров надежно работают при частоте повторения импульсов в 1 *Мгц*.

9. ДИОДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Принцип действия диодного усилителя основан на явлении задержки в восстановлении обратного сопротивления диода после прохождения через него тока в прямом направлении. Этой особенностью обладают главным образом плоскостные диоды ДГ-Ц21, ДГ-Ц27 и др.

Положим, что к катоду диода $Д_2$ (рис. 16,*а*) приложено обратное напряжение от генератора импульсов,

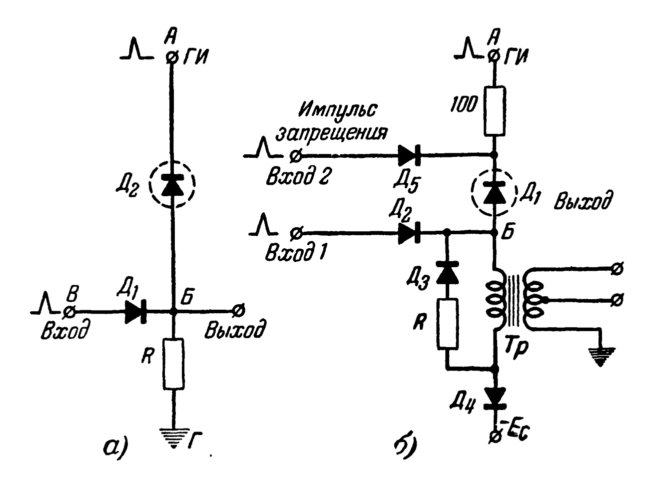


Рис. 16. Диодные усилители.

следующих, например, с частотой 500 *кгц* или 1 *Мгц*. Эти импульсы создают через сопротивление *R* весьма незначительный ток (порядка нескольких микроампер), обусловленный обратным сопротивлением диода и емкостью между его анодом и катодом. Однако, если перед приходом импульса *ГИ* пропустить через диод $Д_2$ импульс тока в прямом направлении, то в течение некоторого времени (порядка 0,5—1 *мксек* и более) обратное сопротивление диода будет оставаться весьма малым за счет большего числа носителей тока, остающихся после прохождения прямого тока. Образно говоря, импульс прямого тока, проходящий через диод $Д_1$ «зажигает» диод $Д_2$ подобно тому, как прохождение тока через тиратрон вызывает сильную ионизацию газа,

и тиратрон проводит ток до тех пор, пока не произойдет деионизация газа. Поэтому, если после прохождения прямого тока через диод $Д_2$, через несколько десятых долей микросекунды подать импульс обратного напряжения от генератора *ГИ*, то через сопротивление R пройдет ток порядка нескольких миллиампер. Этот ток будет затухать по мере уменьшения числа носителей тока в диоде и восстановления его обратного сопротивления.

Положим, что на вход устройства приложен импульс напряжения +2 *в* и что в то же время напряжение *ГИ* равно нулю. В этом случае через диод $Д_2$ пройдет импульс прямого тока в направлении *ВБА*. В течение короткого промежутка времени после этого импульса диод $Д_2$ окажется проводящим в обратном направлении и его обратное сопротивление будет значительно меньше сопротивления нагрузки. Ввиду этого большая часть следующего затем импульса напряжения *ГИ* (равного, например, 20 *в*) выделится на сопротивлении R, что равноценно усилению по напряжению в 10 раз.

Ток в направлении *АБГ* будет уменьшаться с течением времени по мере восстановления обратного сопротивления диода. Так, например, при длительности импульса прямого тока в 0,5 *мксек* импульс тока в обратном направлении уменьшается за 0,5 *мксек* до 72% от всей максимальной величины. При длительности импульса прямого тока в 1 *мксек* амплитуда обратного тока уменьшается за 1 *мксек* на 86%.

Амплитуда импульсов *ГИ* ограничивается лишь величиной обратного пробивного напряжения диода $Д_2$. Когда импульс *ГИ* отсутствует, внутреннее сопротивление источника *ГИ* должно быть возможно меньшим для того, чтобы основная часть мощности входного импульса выделялась на диоде и не делилась между диодом и источником *ГИ*.

Входной диод $Д_1$ является разделительным. Он должен иметь небольшое прямое сопротивление, высокое обратное сопротивление и малую емкость между электродами.

По принципу действия диодного усилителя необходимо, чтобы «поджигающий» импульс был подан непосредственно перед приходом импульсов *ГИ*. Однако, если импульсы *ГИ* имеют период повторения, не превышаю-

щий времени рекомбинации носителей тока, то достаточно широким импульсом на входе можно всегда «поджечь» диод $Д_2$ и установить его в проводящее состояние. Достаточно широкий импульс на входе необходим и для того случая, когда входной импульс придет одновременно с импульсом *ГИ*.

Описанный диодный усилитель не дает усиления по току, которое можно получить, если вместо нагрузочного сопротивления включить трансформатор, как показано на фиг. 16,*б*. Это устройство служит схемой несовпадений, а также повторителем импульсов.

Импульсы *ГИ* подаются к точке *А*. Если на вход *1* поступит импульс, то через первичную обмотку трансформатора *Тр* пройдет ток, так как диод $Д_1$ «поджигается» этим импульсом и становится проводящим в обратном направлении (для положительных импульсов *ГИ* в точке *А*). При наличии же одновременно с импульсом на входе *1* запрещающего импульса на входе *2*, большего по амплитуде, чем на входе *1*, диод $Д_1$ не проводит ток и импульс тока в обмотке трансформатора отсутствует. Из-за индуктивности первичной обмотки трансформатора *Тр* восстановление первоначального состояния после прохождения тока в направлении *АБВ* было бы замедлено, так как диод $Д_2$ проводил бы импульс тока от обмотки трансформатора. Чтобы не допустить этого, в устройство введен диод $Д_4$, запирающийся напряжением смещения — E_c. Таким образом, диод $Д_4$ разрывает цепь тока для э. д. с. самоиндукции обмотки трансформатора, и вход *1* может заряжаться, подготавливаясь к следующему импульсу.

Для того чтобы обеспечить затухание переходных процессов при выключении тока, параллельно первичной обмотке трансформатора *Тр* включен диод $Д_3$ и сопротивление *R*.

При отсутствии запрещающего импульса приведенная схема является схемой повторителя импульсов на входе *1* и дает усиление их по мощности. Вместо сопротивления в цепи *АВ* может быть включен трансформатор и импульс запрещения подается в его первичную обмотку.

Диодные усилители могут быть успешно применены для построения различных схем динамических триггеров, сдвигающих регистров и т. д.

На рис. 17,*а* показана схема динамического триггера с линией задержки *ЛЗ* (0,5—1 *мксек*). После того, как положительный импульс поджигает триод $Д_1$, последний проводит ток в обратном направлении и импульс *ГИ* в несколько десятков вольт проходит в линию задержки *ЛЗ*. Пройдя через линию задержки и отразившись от ее разомкнутого конца (точка *В*), импульс возвращается обратно в точку *Б* с тем же знаком, что и входной им-

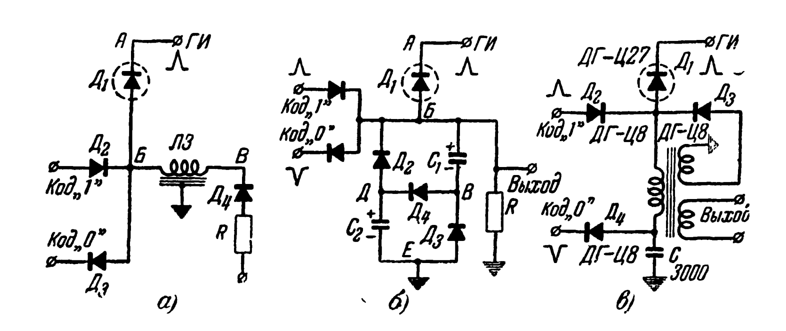


Рис. 17. Схемы динамических триггеров с диодными усилителями.

пульс. Отраженный импульс снова «поджигает» диод $Д_1$ и новый импульс *ГИ* проходит через диод $Д_1$ в линию задержки и т. д. Таким образом, будем иметь непрерывную циркуляцию импульсов в линии задержки. Так как линия задержки имеет небольшое полное сопротивление, то часть отраженной энергии из точки *Б* в третий раз возвращается в точку *В*, и если она не будет поглощена диодом $Д_4$, то в четвертый раз она с обратным знаком отразится в точке *В* и будет препятствовать «поджиганию» диода.

Схема динамического триггера с конденсаторами вместо линий задержки (рис. 17,*б*) дает возможность удвоить ток в нагрузочном сопротивлении *R*. При появлении положительного импульса в точке *Б* диод $Д_1$ поджигается и обратный ток от импульсов *ГИ*, проходящий через диод $Д_1$, заряжает последовательно включенные в цепь *АБВДЕ* конденсаторы. При этом диоды $Д_2$ и $Д_3$

запираются. Когда потенциал точки *Б* станет отрицательным, то после прекращения обратного тока через диод $Д_1$ конденсаторы C_1 и C_2 будут разряжаться параллельно по пути *ЕВБ* и *ВДБ*. Ток разряда конденсаторов создаст на сопротивлении *R* падение напряжения, достаточное для повторного «поджигания» диода $Д_1$, и процесс заряда конденсаторов повторится снова, и т. д. Таким образом, на выходе будут непрерывно циркулировать импульсы с частотой *ГИ*.

Описанный динамический триггер может работать в весьма широком диапазоне частот повторения импульсов *ГИ*. Применение кремниевых диодов, имеющих более короткое время рекомбинации, позволяет получить динамический триггер, работающий на частоте 25 *Мгц*.

Свойство диода сохранять на некоторое время проводящее состояние после прохождения «поджигающего» импульса может быть использовано в схеме динамического триггера (рис. 17,*в*). Здесь обратная связь с выхода диодного усилителя на его вход осуществлена непосредственно от выходной обмотки трансформатора черед диод $Д_3$. Импульс, соответствующий коду «1», первоначально «поджигает» диод $Д_1$, после чего через трансформатор проходит ток от источника *ГИ*. Последовательно с первичной обмоткой трансформатора включена емкость *С*, которая при прохождении тока заряжается положительным напряжением *ГИ*. Импульс от выходной обмотки трансформатора через диод $Д_3$ поддерживает проводящее состояние диода $Д_1$ до прихода следующего импульса *ГИ*. Однако, если на конденсатор *С* подать отрицательный «гасящий» импульс, то диод $Д_1$ становится малопроводящим, и следующий импульс *ГИ* уже не проходит через обмотку трансформатора. Поджигающий импульс, проходящий через диоды $Д_2$ и $Д_3$, может быть подан также непосредственно на конденсатор *С*. Включение конденсатора *С* последовательно с обмоткой трансформатора служит также для устранения действия э. д. с. самоиндукции, возникающей при прохождении тока через обмотку трансформатора. Применение трансформаторной схемы позволяет получить в динамическом триггере усиление по току и напряжению. Частота повторения импульсов *ГИ* в описанной схеме может достигать 0,5—1 *Мгц* при импульсах длительностью в 0,2—0,3 *мксек*.

10. ЭЛЕКТРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ

Электронные счетчики широко применяются в устройствах управления цифровых вычислительных машин для счета номеров команд, циклов при операциях умножения и деления и т. д. Кроме того, они используются в устройствах для преобразования непрерывных величин в цифровой код или в импульсы, в цифровых следящих системах. В последних случаях необходимы счетчики прямого и обратного действия, способные производить как сложение, так и вычитание импульсов, поступающих на вход счетчика.

Имеются два типа электронных счетчиков. Счетчики, в которых производится счет каждого отдельного импульса, и счетчики, в которых импульсы напряжения заряжают конденсатор так, что напряжение на нем пропорционально числу импульсов. Второй тип счетчика по существу является преобразователем дискретной величины количества импульсов в непрерывно меняющуюся величину — напряжение на конденсаторе.

Очевидно, что первый тип счетчика позволяет производить счет с гораздо более высокой точностью, чем второй. В данном параграфе мы ограничимся рассмотрением счетчиков первого типа.

Различают двоичные и десятичные счетчики. В двоичном счетчике может быть только одно из двух значений: 1 или 0, соответствующих двум положениям триггерной ячейки счетчика. Одно положение (начальное) соответствует нулю, а второе (возбужденное состояние) — единице. Это обстоятельство имеет важное значение, так как позволяет выполнить каждый разряд двоичного счетчика только из одной ячейки, в то время как в десятичном счетчике требуется для каждого разряда минимум четыре ячейки. Правда, число разрядов в двоичной системе больше, чем в десятичной, однако в общем, применение двоичного счетчика вместо десятичного позволяет получить значительную экономию ламп.

Рассмотрим прежде всего двоичный счетчик для счета импульсов в прямом направлении. Он состоит из ряда последовательно соединенных элементарных ячеек или разрядов. На рис. 18 показана схема первых трех последовательно соединенных ячеек такого счетчика. Каждая ячейка собрана по схеме рис. 12.

Импульсы, подлежащие счету, подаются на вход первой ячейки. Отрицательный импульс с анода лампы предыдущей ячейки поступает на сетку лампы следующей ячейки. Начальное состояние каждой ячейки, соответствующее цифре 0, фиксируется более низким напряжением на аноде открытого триода $Л_1$, а возбужденное состояние — более высоким напряжением на аноде этого же триода, но запертого. Для удобного визуального отсчета показаний счетчика включены неоновые лампы $НЛ_1$, $НЛ_2$, $НЛ_3$. Эти лампы не горят в начальном

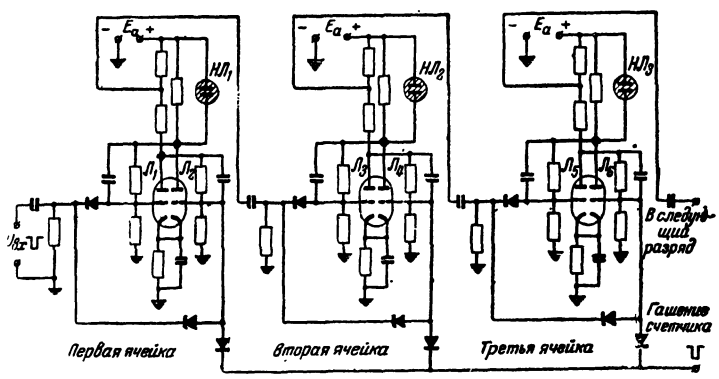


Рис. 18. Двоичный счетчик.

положении (цифра 0) и зажигаются, когда ячейка находится в возбужденном состоянии (цифра 1), т. е. когда триод $Л_2$ открыт, а триод $Л_1$ заперт.

После прохождения первого импульса первая ячейка срабатывает и переходит в возбужденное состояние, что отмечается зажиганием неоновой лампы $НЛ_1$. При этом с анода левого триода $Л_1$ первой ячейки на вход второй ячейки будет подан положительный импульс. Так как только отрицательный импульс может изменить состояние ячейки, то вторая, третья и т. д. ячейки останутся в первоначальном положении. Второй импульс, поданный на вход счетчика, заставит первую ячейку снова возвратиться в первоначальное состояние, и неоновая лампа $НЛ_1$ погаснет. Однако теперь с анода триода $Л_1$ первой ячейки на вход второй ячейки будет подан отрицательный импульс, и вторая ячейка возбудится. При этом зажигается неоновая лампа $НЛ_2$.

Третий импульс, поданный на вход счетчика, снова перебросит первую ячейку в возбужденное состояние. Так как импульс, снимаемый с анода триода $Л_1$ первой ячейки, теперь имеет положительную полярность, то он не пройдет в следующую ячейку, и вторая ячейка будет оставаться возбужденной. Следовательно, теперь будут гореть две неоновые лампы: $НЛ_1$ и $НЛ_2$.

Четвертый импульс снова перебросит первую ячейку в начальное состояние. Одновременно будет переброшена в начальное состояние и вторая ячейка, так как на вход ее поступит отрицательный импульс с выхода первой ячейки. Таким образом, вторая ячейка опрокидывается после каждых двух импульсов.

Рассуждая аналогичным образом, нетрудно убедиться, что переход в возбужденное состояние третьей ячейки будет происходить после каждых четырех импульсов; четвертой ячейки после восьми импульсов и т. д. Если весь электронный счетчик содержит n последовательно соединенных ячеек, то лишь после прохождения 2^n сигналов на выходе счетчика появится один сигнал.

Показания счетчика обычно записываются в двоичной системе: цифре 1 соответствует горящая неоновая лампа, а цифре 0 погашенная. Для счетчика с четырьмя ячейками или четырьмя разрядами максимальное число импульсов, при котором горят все неоновые лампы, равно 15 (код числа 15—1111). Например, при прохождении 13 импульсов показания счетчика будут 1101.

Чтобы возвратить ячейки счетчика в первоначальное положение, при котором все неоновые лампы погашены, достаточно подать на сетки всех правых (по схеме) триодов триггерных ячеек отрицательный импульс. Для возможности подачи такого импульса делаются специальные выводы.

Описанный выше двоичный счетчик позволяет производить счет только в прямом направлении, т. е. в направлении увеличения (сложения импульсов). Однако можно осуществить и обратный счет (вычитание импульсов), если соединить отдельные ячейки между собой, как показано на рис. 19. Здесь выходное напряжение от предыдущей ячейки подается на вход следующей не с анода первоначально открытого триода, а с анода закрытого.

Положим, например, что показание счетчика рис. 19

равно трем, т. е. светятся неоновые лампы $НЛ_1$ и $НЛ_2$ первой и второй ячеек (открыты триоды $Л_2$ и $Л_4$). При поступлении на вход первого импульса срабатывает первая ячейка, и неоновая лампа $НЛ_1$ погаснет. На аноде триода $Л_2$ в этом случае возникнет положительный импульс напряжения. Но он не изменяет состояния второй ячейки, и лампа $НЛ_2$ будет продолжать светиться. Таким образом, показания счетчика будут 3—1=2. Следующий импульс снова заставляет сработать первую ячейку, лампа $НЛ_1$ зажжется, а лампа $НЛ_2$ погаснет, так как теперь с анода триода $Л_2$ на вход второй ячейки

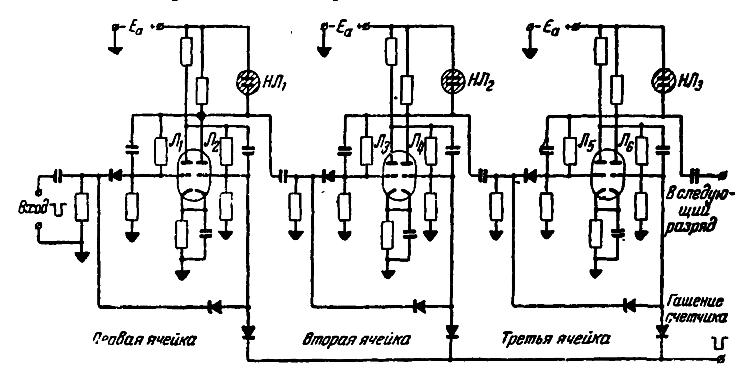


Рис. 19. Вычитающий счетчик.

поступит отрицательный импульс. Показания счетчика будут 3—2=1. Наконец, после третьего импульса снова опрокинется первая ячейка и погаснет лампа $НЛ_1$, не изменяя состояния всех остальных ячеек. Показания счетчика будут 3—3=0.

После следующего (четвертого) импульса произойдет срабатывание и возбуждение всех ячеек счетчика и все неоновые лампы будут гореть. Показание счетчика, имеющего n ячеек, будет равно 2^n-1 и далее, начиная с этого числа, счетчик будет работать в обратном направлении.

Если необходимо иметь счетчик, работающий как в прямом, так и в обратном направлении, то нужное для сложения или вычитания соединение ячеек осуществляется с помощью электронных ключей (рис. 20). При сложении импульсов электронные ключи B_1, B_3, B_5 открыты, а B_2, B_4, B_6 закрыты и не пропускают импульсы от пре-

дыдущей ячейки. При обратном счете (вычитании) наоборот, ключи B_2, B_4, B_6 открыты, а B_1, B_3, B_5 закрыты. Напряжение, управляющее этими ключами, подается от триггерной ячейки T_1.

Для фиксации знака в счетчике после высшего разряда имеется дополнительная триггерная ячейка. Эта ячейка соединена с предыдущей ячейкой счетчика точно таким же образом, как и все остальные. Условно для положительного числа выбирается невозбужденное состояние ячейки знака, а для отрицательного — возбужден-

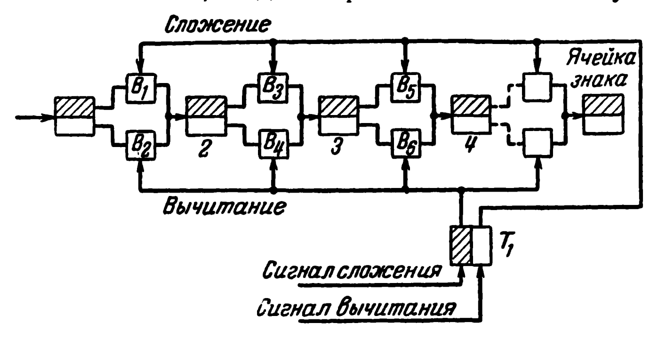


Рис. 20. Счетчик с электронным ключом для переключения на сложение и вычитание.

ное. Например, число +13 для счетчика, имеющего четыре двоичных разряда и одну ячейку знака, запишется в виде |0| 1101.

Показания электронных счетчиков обычно снимаются в виде напряжений с анода лампы левой (или правой) половины каждой ячейки. При этом более высокое напряжение соответствует коду «1», а более низкое — коду «0». Для счетчика (рис. 18) напряжения, снимаемые с анодов левых триодов каждой ячейки, являются прямым кодом, а напряжения, снимаемые с анодов правых триодов — обратным кодом.

На рис. 21 приведена практическая схема счетчика прямого и обратного действия. Здесь переключение на сложение или вычитание производится с помощью германиевых диодов. Диоды $Д_2$, $Д_4$ и т. д. пропускают импульсы при вычитании, а диоды $Д_3$, $Д_5$ и т. д. при сложении. Управление шинами сложения и вычитания счетчика осуществляется триггерной ячейкой с триодами $Л_1$ и $Л_2$.

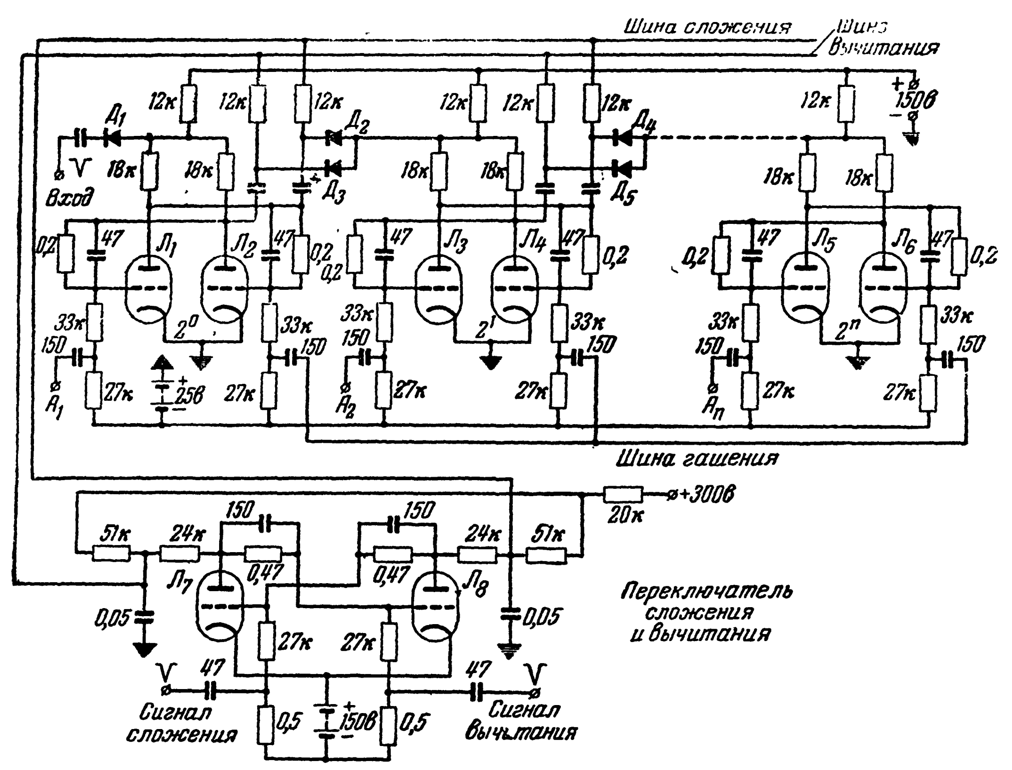


Рис. 21. Принципиальная схема двоичного счетчика прямого и обратного действия.

Сигнал сложения или вычитания подается на сетки триодов $Л_1$ и $Л_2$ в виде импульсов отрицательной полярности. Верхний уровень напряжения на аноде одного из триодов запирает диоды $Д_2$, $Д_4$ и т. д. при сложении или диоды $Д_3$, $Д_5$ и т. д. при вычитании, так как на их катодах положительное напряжение является преобладающим.

Входные импульсы отрицательной полярности подаются на аноды обоих триодов первой триггерной ячейки. При этом происходит опрокидывание триггера в возбужденное положение, и импульс отрицательной поляр-

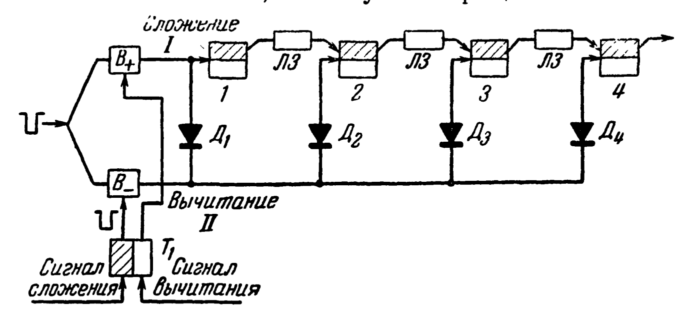


Рис. 22. Реверсивный счетчик с линиями задержки.

ности с анодов триодов первой ячейки передается через открытый диод $Д_2$ или $Д_3$ на аноды триодов слудующей ячейки и т. д. Гашение счетчика осуществляется подачей отрицательного импульса на шину гашения, соединяющуюся через дифференцирующие конденсаторы с сетками всех правых (по схеме) триодов.

Счетчик может быть использован также для сложения кодов двух чисел. В этом случае код одного числа вводится одновременно во все разряды предварительно погашенного счетчика параллельной подачей кодов импульсов через диоды $Д_1$, $Д_3$, $Д_5$ и т. д. Код второго числа вводится подачей кодов импульсов последовательно разряд за разрядом на вход A_1, A_2, ... ,A_n.

Кроме описанной схемы, для счетчика импульсов применяется схема (рис. 22), в которой ячейки счетчика соединены одинаково как для сложения, так и для вычитания. Здесь передача импульсов от разряда к разряду производится через линии задержки *ЛЗ*, задерживающие их на время 0,5—1 *мксек*, достаточное для сраба-

ывания триггерной ячейки. При сложении импульсов они подаются на вход *I* и счетчик суммирует их так же, как и в предыдущей схеме. При вычитании же импульсы подаются через разделительные диоды $Д_1$—$Д_4$ (вход *II*) одновременно на входы всех ячеек. Это соответствует прибавлению числа $\boxed{1}$ 11111, т. е. дополнительного кода числа 1. Действительно, прибавление дополнительного кода числа к числу, показываемому счетчиком, эквивалентно вычитанию его, т. е. в данном случае производится вычитание единицы. Линии задержки необходимы для того, чтобы задержать импульсы переноса, возникающие на выходе триггерных ячеек, в момент переброса триггеров от импульса вычитания. После этого задержанные импульсы переноса поступают на вход следующих ячеек и снова производят переброс их. Благодаря этому производится операция сложения с учетом импульса переноса.

Диоды $Д_1$—$Д_4$ служат для разделения цепей и подачи вычитаемого импульса на вход всех ячеек счетчика, включая и ячейку знака. Переключение импульса на вход «сложение» или «вычитание» осуществляется электронными ключами B_+ и B_-, управляемыми триггерной ячейкой T_1. Здесь требуется только два электронных ключа.

Введение линий задержки несколько замедляет время срабатывания счетчика, в худшем случае на величину nt, где n — число ячеек, а t — время задержки каждой ячейки. При небольшом числе ячеек счетчика это время сравнительно мало.

В описанных выше счетчиках применялись статические триггерные ячейки. Рассмотрим теперь электронный счетчик на более экономичных динамических триггерах (рис. 23).

Каждый из динамических триггеров *ДТ* имеет два отдельных входа: для кода «1» и кода «0». Чтобы образовать общий счетный вход, необходимо применить схему совпадений «И». Схема совпадений пропускает импульс на вход *0* динамического триггера, если он находится в состоянии, соответствующем коду «1». Импульс, разрешающий прохождение входного импульса, поступает от обмотки выходного трансформатора триггера.

Импульсы, подлежащие счету, подаются на вход триггера непосредственно. Если триггер находится в состоянии, соответствующем коду «1», то импульс прежде всего проходит на вход «1» триггера и не оказывает на него воздействия. Одновременно он проходит через диод $Д_2$ и линию задержки $ЛЗ_2$ с малым временем задержки на вход «0» этого же триггера; через некоторое время задержанный в $ЛЗ_2$ импульс устанавливает триггер в положение кода «0». В случае же, когда триггер находится в положении кода «0», вентиль «И» закрыт и триггер

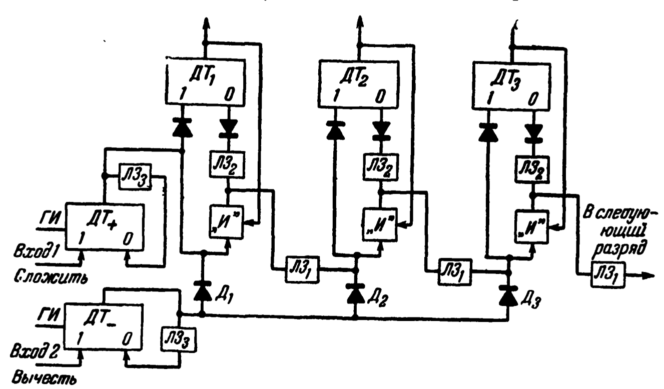


Рис. 23. Реверсивный счетчик на динамических триггерах.

устанавливается в положение кода «1». Таким образом, при двух возможных положениях триггера он перебрасывается, когда на его счетный вход поступает импульс извне.

При такой схеме образования общего счетного входа работа реверсивного счетчика на динамических триггерах происходит таким же образом, как и в счетчике на обычных статических триггерах.

Так, например, если первый триггер $ДТ_1$ уже находится в состоянии, соответствующем коду «1», то импульс, поступающий на его вход, перебрасывает триггер в состояние, соответствующее коду «0» и одновременно проходит через линию задержки $ЛЗ_1$, на вход второго триггера, где он используется в качестве импульса переноса от предыдущего разряда. Для усиления импульса переноса служит ламповый вентиль. Для сложения или вычитания импульсов в счетчике они подаются на его шину сложения или вычитания. При вычитании импульса он

поступает через диоды $Д_1 - Д_3$ и т. д., одновременно на все входы, что эквивалентно прибавлению дополнительного кода единицы или вычитанию ее. Входные импульсы могут поступать на вход счетчика в любое время. Для запоминания их на входе счетчика имеются дополнительные динамические триггеры $ДТ_+$ и $ДТ_-$. Они выдают импульс на шину сложения или вычитания счетчика в момент прихода синхронизирующего импульса *ГИ*. Благодаря

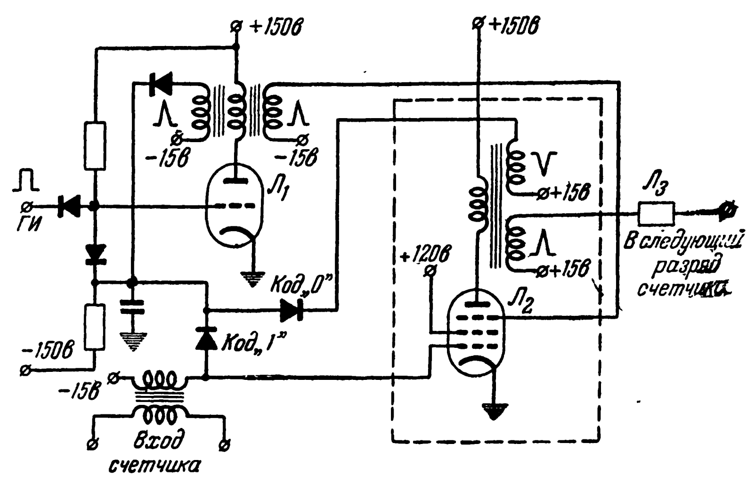


Рис. 24. Схема одного разряда счетчика на динамических триггерах.

этому импульс, поступающий в счетчик, всегда совпадает по времени с синхронизирующим импульсом. Если динамический триггер $ДТ_+$ или $ДТ_-$ был ранее установлен в положение кода «1» приходящим извне импульсом, то после прохождения синхронизирующего импульса он устанавливается в положение кода «0» с помощью импульса от обмотки выходного трансформатора динамического триггера после прохождения его через линию задержки $ЛЗ_3$.

Принципиальная схема одного разряда реверсивного счетчика со схемой совпадения «1» на входе триггера показана на рис. 24. Схема совпадений выполнена здесь на пентоде $Л_2$. Один импульс подается на управляющую, а второй на защитную сетку пентода.

Схема динамического триггера выбрана здесь такой же, как и на рис. 15.

11. СДВИГАЮЩИЕ РЕГИСТРЫ

Сдвигающий регистр служит для запоминания (регистрации) кода числа в арифметическом устройстве машины и для сдвига его на один (или несколько) разрядов вправо или влево. Операция сдвига числа, как было показано ранее, необходима, например, при выполнении операций умножения и деления и в других случаях действий с числами.

Рассмотрим для простоты сдвигающий регистр, состоящий из трех последовательно соединенных триггерных ячеек (рис. 25). Здесь, так же как и в электронном

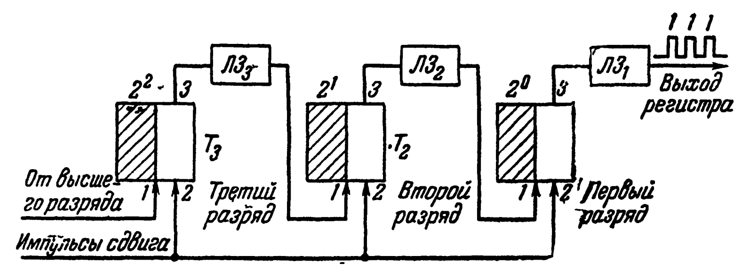


Рис. 25. Сдвигающий регистр на статических триггерах.

счетчике, выход одной ячейки соединен со входом следующей ячейки, но не непосредственно, а через линии задержки $ЛЗ_1$ — $ЛЗ_3$. Положим, что в регистр из запоминающего устройства введен (параллельно по всем разрядам) код «111», при котором каждая из триггерных ячеек находится в положении, соответствующем коду «1». Если теперь на шину сдвига подать один импульс, то все триггерные ячейки будут одновременно возвращены в начальное состояние, соответствующее коду «0». Это произойдет вследствие того, что сдвигающий импульс является гасящим импульсом для всех триггерных ячеек. Он подается на сетки ламп всех правых половин ячеек триггера, которые возвращаются в состояние кода «0».

При переходе ячеек от состояния, соответствующего коду «1», к состоянию кода «0» в линии задержки $ЛЗ_1$, $ЛЗ_2$ и $ЛЗ_3$ будет передан импульс отрицательной полярности. Эти импульсы, задержанные в линиях задержки, через некоторое время поступят на вход следующих триггерных ячеек T_2, T_3 и перебросят их в положение, соответствующее коду «1». Если же в предыдущей ячейке

был код «0», то в линию задержки не будет передан импульс и в следующей ячейке после импульса сдвига будем иметь код «0».

В нашем случае после первого импульса сдвига вместо кода «111» получим код «110», т. е. число будет сдвинуто вправо на один разряд. Если на шину сдвига последовательно подать три импульса, то в нашем примере после каждого импульса на выходе регистра будем иметь импульс, соответствующий коду «1». После прохождения трех импульсов на шине сдвига код числа, показываемый триггерами, будет «000», а на выходе регистра получим последовательный код числа «111», хранившегося в регистре.

Таким образом, сдвигающий регистр позволяет не только сдвинуть код числа вправо, но и превратить его в последовательный код импульсов на выходе регистра. Сдвиг кода числа здесь производился от высшего разряда к низшему, т. е. вправо.

Описанная схема сдвигающего регистра отличается от схемы электронного счетчика тем, что триггерные ячейки соединены здесь последовательно через линии задержки $ЛЗ_1$, $ЛЗ_2$ и т. д., которые являются своего рода запоминающими элементами для импульса, идущего с выхода предыдущей ячейки на вход следующей. Обычно время задержки импульса составляет не более 0,3—0,5 *мксек*. Импульсы сдвига подаются на шину гашения триггерных ячеек с частотой, достигающей в некоторых схемах до 1 *Мгц*. Код числа вводится в регистр параллельно по всем разрядам из запоминающего устройства лампы. Регистр служит промежуточной «памятью» между арифметическим устройством и запоминающим устройством машины.

Операция сдвига кода числа может быть произведена и в регистре на динамических триггерах (рис. 26). Каждая ячейка этого регистра состоит из динамического триггера, который имеет общий вход для сдвигающих импульсов. На вход триггера для кода «1» сдвигающий импульс подается через схему совпадений *1*, которая пропускает импульс только в том случае, если динамический триггер следующего высшего разряда находится в положении кода «1». Если же триггер следующего высшего разряда находится в положении кода «0», то сдвигающий импульс поступает на другой вход триггера

(соответствующий коду «0») через схему несовпадений 2 и также устанавливает его в положении кода «0». Таким образом, каждый сдвигающий импульс как бы передает код высшего разряда в триггер следующего низшего разряда, т. е. производит сдвиг всего кода числа на один разряд.

Весьма важно, что каждый из динамических триггеров при подаче каждого сдвигающего импульса срабатывает здесь только один раз, т. е. частота работы триггера равна частоте сдвигающих импульсов. В предыдущем же сдвигающем регистре со статическими триггера-

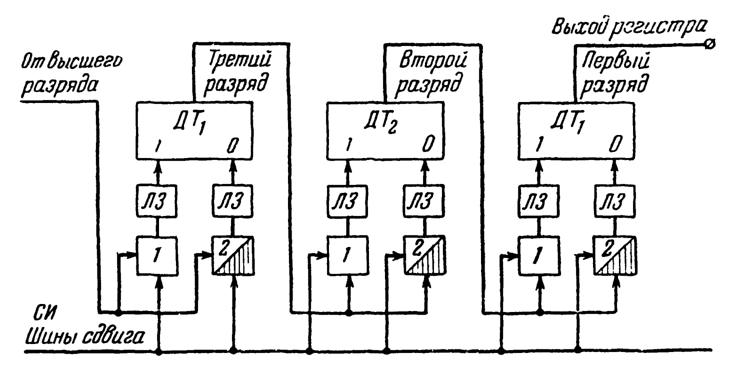


Рис. 26. Сдвигающий регистр на динамических триггерах

ми каждый триггер должен быть рассчитан на частоту срабатывания, вдвое большую, чем частота повторения сдвигающих импульсов. Действительно, там в течение одного интервала триггер один раз срабатывает при гашении, а второй раз при передаче на его вход импульса из линии задержки.

В арифметических устройствах вычислительных машин часто требуется осуществлять сдвиг кода числа, хранящегося в регистре, в обе стороны, как вправо так и влево (например, при умножении и делении). Как это может быть осуществлено, показано на рис. 27, на примере регистра, состоящего из трех динамических триггеров $ДТ_{n-1}$, $ДТ_n$ и $ДТ_{n+1}$. Здесь $n+1$ — следующий высший, а $n-1$ — следующий низший разряды для динамического триггера n-го разряда.

В качестве динамического триггера в регистре применен триггер, имеющий один вход для кодов «1» и «0»

и один выход (см. схемы рис. 13 и 14). Код числа вводится в регистр параллельно и одновременно по всем разрядам через входные шины. Сдвигающие импульсы подаются на какую-либо одну из шин — *Б* или *В*. На входе каждого триггера имеется три схемы совпадений «И», пропускающие импульсы, поданные на шину *А, Б* или *В*. Шина *А* служит для подачи сигнала разрешающего ввод кода числа в регистр из запоминающего устройства машины.

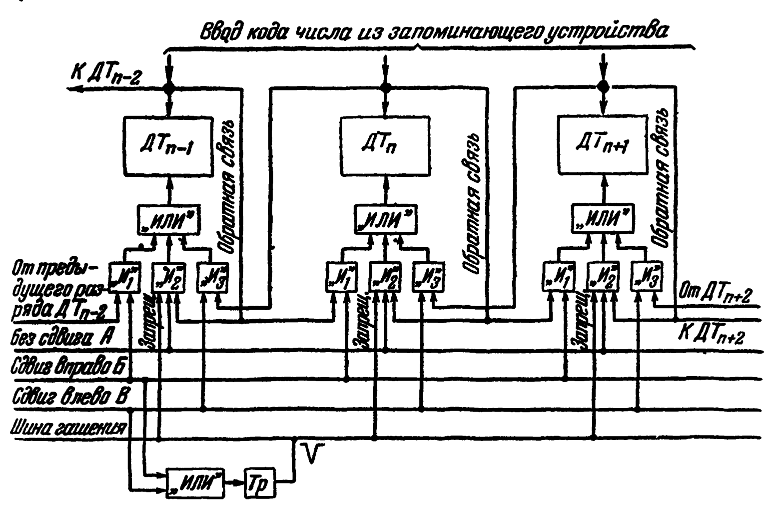


Рис. 27. Блок-схема сдвигающего регистра на динамических триггерах.

Если импульсы поступают на шину *А*, то каждый из триггеров воспринимает через вентиль $И_2$ поданный ему из запоминающего устройства код числа данного разряда без сдвига. Если же сдвигающие импульсы подать на шины *Б* или *В*, то код числа, хранящийся в регистре, сдвигается. При этом каждый импульс сдвигает код числа на один разряд вправо, если открыты вентили $И_1$, или влево, если открыты вентили $И_3$.

Для того чтобы в момент сдвига кода числа вправо или влево воспрепятствовать прохождению импульса из цепи обратной связи триггера на его вход, вентили $И_2$ закрываются запрещающим импульсом. Запрещающий импульс отрицательной полярности подается одновремен-

но со сдвигающим импульсом на шинах *Б* или *В*. Он поступает на шину гашения регистра от схемы «ИЛИ» через инвертер-трансформатор *Тр* всякий раз, когда на одной из шин *Б* или *В* имеется напряжение. Вентили же $И_1$ или $И_3$ пропускают импульсы, если последние поданы на их вход с выхода предыдущего или следующего триггера (в зависимости от направления сдвига). Это имеет место в том случае, когда предыдущий триггер находится в положении, соответствующем коду «1».

12. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ И КОММУТАТОРЫ

Электронные переключатели применяются для переключения цепей управления электронных цифровых машин и ее узлов. Таким переключателем может служить

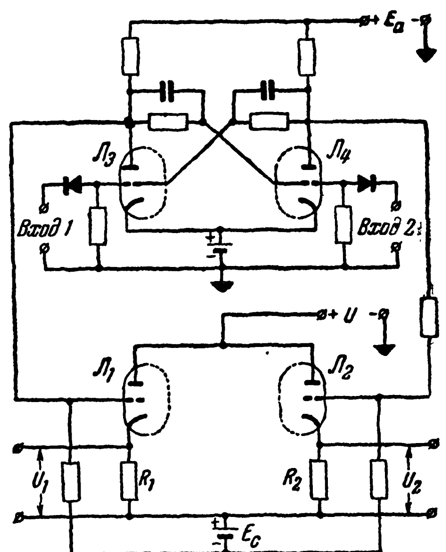


Рис. 28. Электронный переключатель с триггерными ячейками.

триггер, управляющий двумя вентилями. Одна из схем электронного переключателя с триггером приведена на рис. 28. Триггер имеет два входа. На один из них подается управляющее напряжение. Напряжение, снимаемое с анодов триодов $Л_3$ и $Л_4$, управляет лампами $Л_1$ и $Л_2$, на аноды которых подано напряжение *U*, подлежащее

переключению. Выходные напряжения U_1 и U_2 снимаются с сопротивлений R_1 или R_2, включенных в катодную цепь триодов $Л_1$ и $Л_2$.

Напряжение батарей смещения E_c выбирается такого же порядка, что и напряжение на аноде открытой лампы триггера. Вследствие этого один триод ($Л_1$ или $Л_2$), на сетку которого подается напряжение от анода открытой лампы триггера, заперт, а другой — открыт. При этом напряжение, снимаемое с сопротивления в цепи катода закрытой лампы, равно нулю, а снимаемое с сопротивления в цепи катода открытой лампы близко к переключаемому напряжению U. Переброс триггера по сигналу на входе *1* «переключает» напряжение U из канала U_1 в канал U_2 и наоборот.

Если вместо триггера взять одновибратор, самовозвращающийся через некоторое время в исходное положение, то управляющий сигнал можно подавать только на один вход. В этом случае отсутствие сигнала соответствует одному положению переключателя, а наличие его — второму положению. Благодаря применению триггерной ячейки нет необходимости в одновременном совпадении управляющего импульса с импульсом переключаемого напряжения U, так как триггер «запоминает» поданный на его вход импульс и фиксирует его, оставаясь в другом положении равновесия.

Достоинствами описанного переключателя являются: 1) напряжение на одном из выходов при отсутствии управляющего сигнала равно нулю, 2) быстрота действия переключателя (определяется временем срабатывания триггера), 3) имеется усиление по напряжению управляющего сигнала, 4) небольшое сопротивление катодного выхода. К недостатку этой схемы относится потребление мощности от источника переключаемого напряжения.

Для переключения нескольких цепей применяются многопозиционные переключатели с выпрямительными сетками из германиевых или миниатюрных купроксных диодов. Они позволяют поочередно выбирать одно из нескольких возможных положений. Время установления переключателя с германиевыми диодами не превышает 1 *мксек*.

На рис. 29 показана схема электронного переключателя, устанавливающего одну из четырех позиций в зависимости от положения ключей K_1 и K_2. В качестве по-

следних могут быть применены электронные реле и одновибраторы.

Для простоты рассуждений, на схеме ключи K_1 и K_2 изображены как механические переключатели. Если, например, эти ключи установлены в положение, изображенное на схеме, то выпрямительная сетка включает напряжение E_a только в линию *1*. Остальные три линии находятся в выключенном, или «неоперативном», состоянии. Действительно, в этом случае выпрямители замыкают цепь источника E_a на «землю» и почти все напряжение

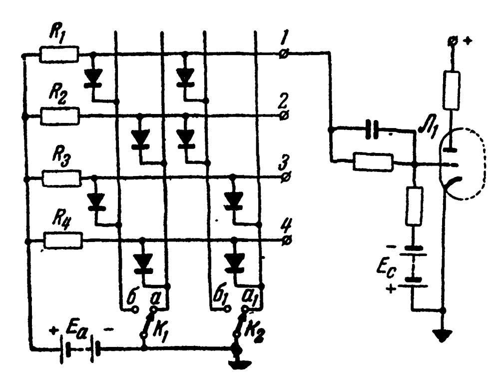


Рис. 29. Электронный переключатель на четыре положения.

падает на высокоомных сопротивлениях R_2, R_3 и R_4. Что касается сопротивления R_1, то через него ток не проходит, и линия *1* находится под потенциалом E_a относительно заземленной точки. Поэтому, если, например, на конце линии *1* включить нормально запертую лампу $Л_1$, то она откроется. На остальных же линиях подобные лампы будут оставаться закрытыми.

При других положениях ключей K_1 и K_2 получается следующее. Если K_1 находится в положении *б*, а K_2 — в положении a_1, то под напряжением находится линия *2;* если K_1 находится в положении *а*, а K_2 — в положении $б_1$, то под напряжением находится линия *3* и, наконец, если K_1 находится в положении *б*, а K_2 — в положении $б_1$, то под напряжением находится линия *4*.

Таким образом, в зависимости от положения ключей K_1 и K_2 всегда выбирается только одна линия.

Ключи K_1 и K_2 можно заменить электронным реле, срабатывающим при подаче на его вход импульса. Тогда в зависимости от наличия или отсутствия импульса на входе каждого реле будет выбираться какая-либо одна

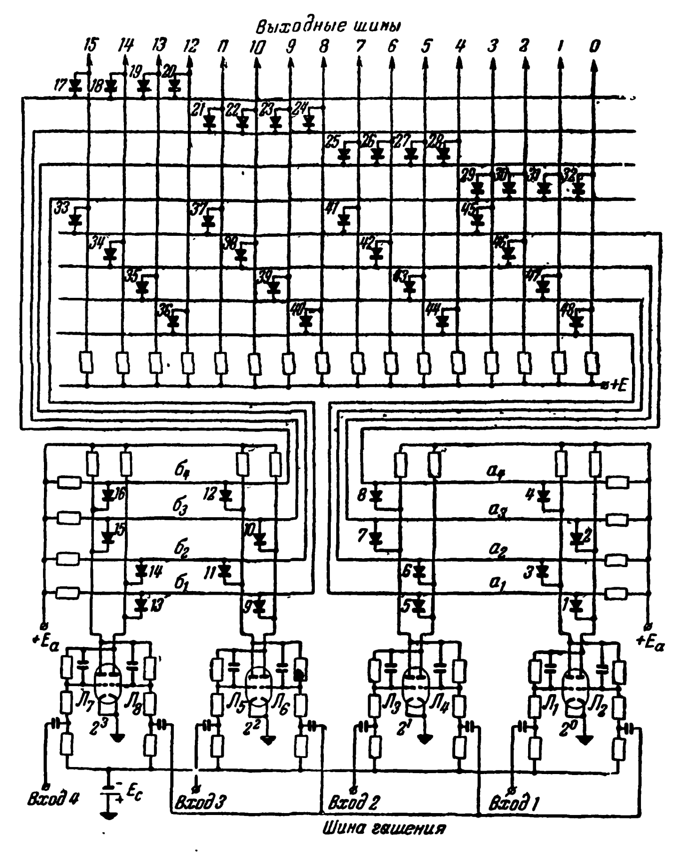


Рис. 30. Комбинированный электронный переключатель на 16 позиций.

из линий. Подобные схемы могут быть составлены и для многопозиционных переключателей на большое число положений.

В качестве примера на рис. 30 дана схема переключателя на 16 позиций. Он представляет собою комбинацию из двух переключателей на четыре позиции. Переключение выходных шин осуществляется с помощью четы-

рех триггерных ячеек, каждая из которых имеет два входа. На один вход подается отрицательный импульс, перебрасывающий ячейку в новое положение равновесия, на другой — «гасящий» импульс, возвращающий ее в исходное положение. В начальном (нулевом) положении, когда левые по схеме триоды всех триггеров открыты, а правые закрыты, диоды *1*, *5*, *9* и *13* закрыты напряжением, имеющим место на анодах закрытых ламп $Л_2$, $Л_4$, $Л_6$ и $Л_8$ и шины a_1 и $б_1$ находятся под высоким потенциалом. Вследствие этого оказываются закрытыми диоды *32* и *48*, а выходная шина, обозначенная цифрой 0, также находится под высоким потенциалом $(+E)$ Все остальные шины замкнутся на «землю» через открытые лампы триггеров и какой-либо из диодов. Так, например, шина *1* замыкается на землю через диоды *43, 3* и лампу $Л_1$, шина *2*—через диоды *46, 7* и лампу $Л_3$ и т. д.

Если же на вход *1* первого триггера подать отрицательный импульс, то лампа $Л_1$ закроется, а $Л_2$ откроется. Этому новому положению триггера будет соответствовать высокий потенциал на шине *1*.

Как было показано выше, четыре триггерные ячейки, управляющие переключателем, могут быть соединены между собой и образовать электронный счетчик импульсов. В этом случае каждому числу импульсов от 0 до 15 будет соответствовать одна из шин переключателя, обозначенная той же цифрой, что и число импульсов.

Преимуществами схем с выпрямительными сетками являются: относительно малое количество электронных ламп, наличие общего источника питания, быстрота действия, усиление управляющего напряжения электронными реле.

С целью уменьшения количества электронных ламп и повышения быстроты действия переключающей схемы вместо статических триггеров применяются динамические триггеры.

Рассмотрим переключающую схему на 8 позиций с тремя динамическими триггерами, образующими счетчик импульсов (рис. 31). Внешние импульсы подаются на вход, соответствующий коду «1» первого триггера $ДТ_1$. Выходная обмотка трансформатора, включенного в анодной цепи лампы триггера $ДТ_1$, управляет электронным ключом B_1, через который входной импульс передается во второй разряд $ДТ_2$, если первый триггер $ДТ_1$

находится в состоянии кода «1». Точно так же выход второго триггера управляет электронным ключом B_2, через который импульс передается на вход третьего триггера,

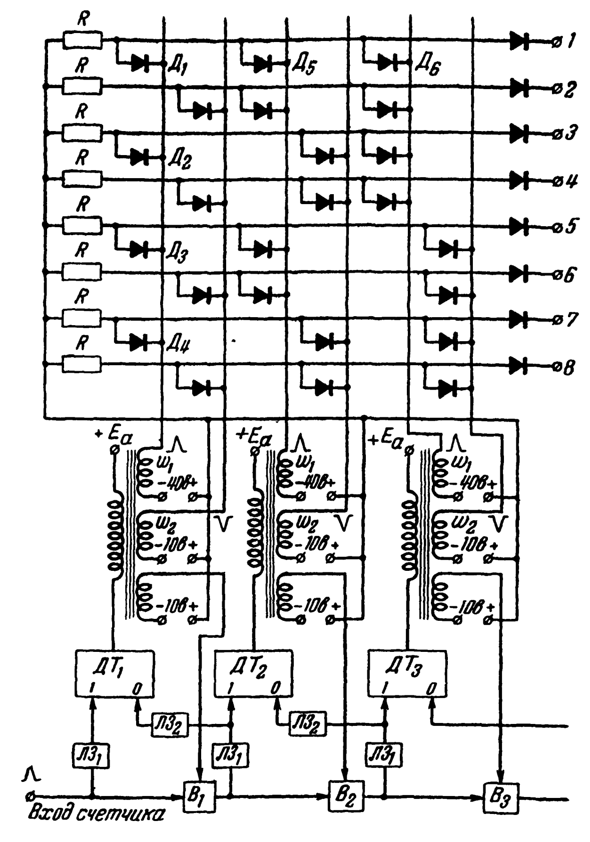


Рис. 31. Электронный переключатель на динамических триггерах.

и т. д. Если, например, триггеры $ДТ_1$ — $ДТ_3$ находятся в состоянии кода «1», то входной импульс через электронные ключи B_1, B_2, B_3 непосредственно передается на вход *1* четвертого триггера, чем сокращается время последовательного переброса триггеров при счете импульсов.

Рассмотрим теперь более подробно работу счетчика. Положим, что в начале состояние всех триггеров соответствует коду «0». Первый импульс на входе счетчика перебрасывает триггер $ДТ_1$ в состояние кода «1». Второй импульс, пройдя через открытый теперь электронный ключ $В_1$ и линию задержки $ЛЗ_1$, установит второй триггер в положение кода «1». Через некоторое время после этого импульс, задержанный в линии задержки $ЛЗ_2$, перебросит первый триггер снова в положение кода «0». Таким образом, после второго импульса на входе счетчика в положение кода «1» устанавливается только триггер $ДТ_2$. Третий импульс снова установит первый триггер в положение кода «1», причем, так как электронный ключ $В_1$ (в момент импульса) закрыт, триггер $ДТ_2$ останется в положении кода «1». Следовательно, после трех импульсов на входе первый и второй триггеры будут находиться в состоянии кода «1», что соответствует числу $1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 = 3$.

Аналогично четвертый импульс установит третий триггер $ДТ_3$ в состоянии кода «1», в то время как первые два будут погашены, и т. д. Отсюда видно, что последовательно соединенные электронные ключи $В_1$—$В_3$ и т. д. играют роль цепочки переноса импульса в высший разряд счетчика. Так как при этом импульсы минуют линии задержки $ЛЗ_1$, то ускоряется процесс счета.

Выходные обмотки w_1 трансформатора каждого триггера включены на кодовые шины выпрямительной сетки (дешифратора). Когда триггеры находятся в положении «0», все переключаемые шины *1*—*8* дешифратора имеют потенциал — 40 *в*; диоды, подключенные к этим шинам, открыты и проводят ток.

Вторые выходные обмотки w_2 трансформаторов подключены к отрицательному полюсу источника напряжением 10 *в*, вследствие чего диоды, присоединенные к шинам и этим обмоткам, заперты. Допустим, что один из триодов, например $ДТ_1$, будет переброшен в состояние, соответствующее коду «1». Тогда в обмотке w_1 его трансформатора появятся импульсы положительной полярности, а в обмотке w_2 — импульсы отрицательной полярности. Амплитуда этих импульсов превышает +40 *в*, вследствие чего диоды $Д_1$ — $Д_4$ ими запираются, и напряжение на шине *1* изменяется в виде импульсов с —40 *в* до —10 *в*. Таким образом, до тех пор, пока триггер

$ДТ_1$ генерирует импульсы на шине *1*, будет иметь место последовательность импульсов положительной полярности.

Действительно, в промежутках между импульсами в обмотке первого триггера шина *1* имеет потенциал —40 *в*. Когда же в обмотке w_1 возникает положительный импульс, то диод $Д_1$ закроется, а диоды $Д_5$ и $Д_6$ проводят ток, так как катоды их находятся под потенциалом —10 *в*. Поэтому в момент прохождения положительного импульса в обмотке w_1 шина *1* имеет потенциал —10 *в* и на ней будет иметь место положительный импульс напряжения от —40 *в* до —10 *в*.

Таким образом, после подачи на вход счетчика первого импульса в оперативном состоянии будет находиться шина *1*, т. е. на ней появится последовательность положительных импульсов. Эти импульсы будут иметь место до тех пор, пока триггер $ДТ_1$ находится в положении кода «1». Каждому коду числа в счетчике соответствует одна определенная шина переключателя, в которой непрерывно циркулируют импульсы (с частотой импульсов динамического триггера) до тех пор, пока код числа в счетчике не изменится.

Если производится счет импульсов с частотой, например, в 1 *Мгц*, то каждому импульсу от 1 до 8 соответствует своя определенная шина переключателя. На каждой из шин *1—8* последовательно появятся положительные импульсы с частотой переключения шин.

В отличие от переключателя на статических триггерах описанный переключатель дает на шинах, находящихся в оперативном состоянии, напряжения в виде последовательности импульсов. Поэтому переключатели такого типа часто называются импульсными.

Принципиальная схема двух разрядов счетчика на динамических триггерах для импульсного переключателя показана на рис. 32. Счетчик содержит два последовательно соединенных динамических триггера, на триодах $Л_1$ и $Л_2$. Пентоды $Л_3$ и $Л_4$ выполняют роль схем совпадений и служат для переноса. Импульс переноса с первого триггера через линию задержки $ЛЗ_1$ и трансформатор *Тр* (предназначенный для инвертирования импульса) подается на кодовый вход *1* следующего триггера. Импульс переноса, проходящий через линию задержки $ЛЗ_2$, гасит первый триггер после того, как второй триггер

установится в состояние кода «1». Управление кодовыми шинами дешифратора осуществляется обмотками w_1 и w_2 триггеров, как было описано выше. Все используемые в схеме рис. 32 линии задержки дают запаздывание импульса на 0,25 *мксек.*

По сравнению с потенциальным переключателем на статических триггерах переключатель на динамических

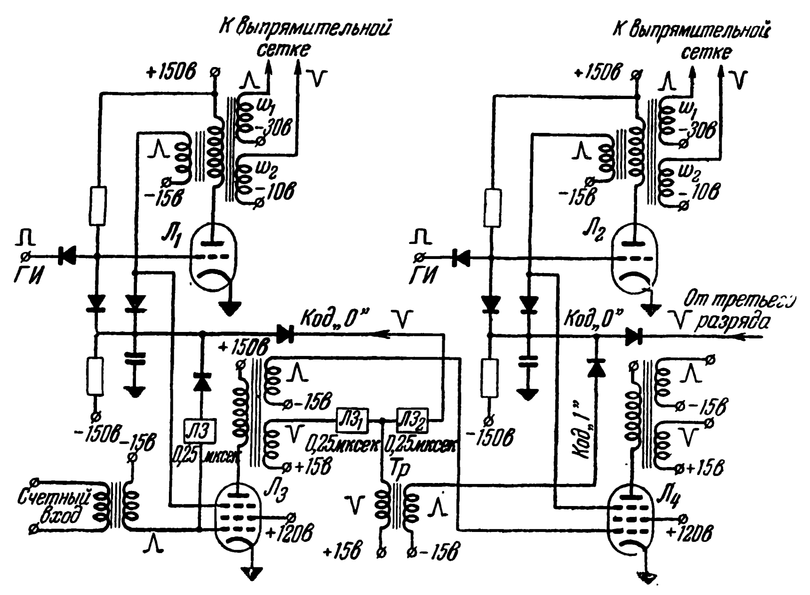


Рис. 32. Счетчик импульсов с цепочкой переноса на два разряда.

триггерах более экономичен и содержит всего лишь две лампы на разряд, включая и электронный ключ переноса. При использовании статических триггеров требуется три-четыре лампы на разряд. Кроме того, применение динамических триггеров позволяет осуществить трансформаторную связь с шинами переключателя и получить импульс достаточной мощности для управления несколькими вентилями.

13. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СУММАТОРЫ

Электронный сумматор является основным элементом арифметического устройства цифровой машины. Он производит в секунду до нескольких сот тысяч сложений ко-

дов десятизначных чисел. С помощью сумматора выполняются не только операции сложения и вычитания, но также умножения и деления.

Простейшим сумматором является одноразрядный последовательный сумматор, производящий последовательно разряд за разрядом сложение двоичных кодов двух чисел.

При поразрядном сложении кодов двух чисел *А* и *Б* к этим кодам приходится прибавлять перенос, получающийся при сложении в низшем разряде. Таким образом, в общем случае в каждом разряде необходимо складывать три кода: код числа *А*, код числа *Б* и код переноса *П*. Результат суммирования этих кодов при различных комбинациях их значений показан в табл. 5.

Таблица 5

Номер возможной комбинации	1	2	3	4	5	6	7	8
Код числа *А*	0	0	1	1	0	0	1	1
Код числа *Б*	0	0	0	0	1	1	1	1
Код переноса из предыдущего разряда	0	1	0	1	0	1	0	1
Сумма	0	1	1	0	1	0	0	1
Перенос в следующий разряд . . .	0	0	0	1	0	1	1	1

Число возможных комбинаций трех кодов (двух чисел *А*, *Б* и переноса *П*) равно 8. Суммирование в таблице производится в вертикальном направлении. На выходе сумматора получается сумма кодов, а также код переноса в следующий высший разряд.

Блок-схема простейшего одноразрядного последовательного сумматора дана на рис. 33. Сумматор состоит из двух схем несовпадений *1* и *2* и двух совпадений *3* и *4*. Рассмотрим, как производится поразрядное сложение кодов двух чисел. Положим, что код низшего разряда числа *А* есть «1», а код этого же разряда числа *Б* — «0». Это означает, что на вход *А* импульс подан, а на вход *Б* нет. В результате импульс со входа *А* через схемы несовпадений *1* и *2* пройдет на выходную шину «сумма». Схемы же совпадений *3* и *4* его не пропустят. Итак, им-

пульс будет иметь место только на шине «сумма», что соответствует $1+0=1$.

Положим теперь, что импульсы поступают одновременно на входы *А* и *Б*, т. е. что коды данного разряда чисел *А* и *Б* есть «1». В этом случае схема несовпадения *1* уже не пропустит импульсы на выход. В то же время схема совпадений *3* даст на выходе импульс, который через диод $Д_2$ пройдет на другую выходную шину, называемую шиной «переноса». Здесь импульс переноса будет запоминаться на короткое время (порядка 1 *мксек*) с помощью электронного реле или линии задержки *ЛЗ*. Таким образом, в результате сложения кодов чисел этого

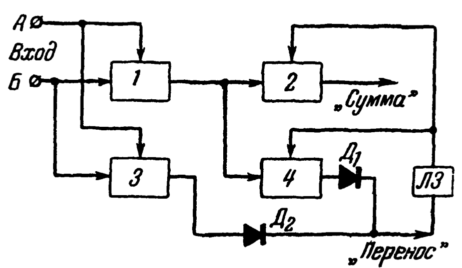


Рис. 33. Блок-схема последовательного сумматора.

разряда импульс на шине «сумма» отсутствует ($1+1=0$), а импульс переноса запоминается на шине «перенос». Когда на вход сумматора поступят коды следующего разряда чисел *А* и *Б*, то линия *ЛЗ* пропустит задержанный импульс на входы схем *2* и *4*.

Положим, что следующий разряд чисел *А* и *Б* также имеет код «1». Тогда схема *1* не пропустит импульса со входа сумматора, а схема совпадений *3* снова даст импульс в линию задержки *ЛЗ*. На вход же схемы несовпадений *1* поступит задержанный импульс от предыдущего сложения кодов, который будет ею пропущен на шину «сумма». В результате получим код «1»+«1»+«1»=«1» на шине «сумма» и код «1» на шине «перенос».

Для правильной работы сумматора коды чисел *А* и *Б* должны поступать на оба входа одновременно и последовательно разряд за разрядом (начиная с низшего) через строго определенные промежутки времени (например, через каждую микросекунду). При такой скорости работы сумматора и непрерывном поступлении импульсов

за одну секунду будет производиться миллион сложений.

Описанный последовательный сумматор можно представить себе состоящим из двух совершенно одинаковых половин, первая из которых содержит схемы *1* и *3*, а вторая — *2* и *4*. Каждая из этих половин сумматора производит сложение только двух кодов чисел, а именно: схемы *1* и *3*—кодов чисел *А* и *Б*, а схемы *2* и *4* к полученному результату добавляют код переноса *П*. Каждая из половин такого сумматора называется полусумматором.

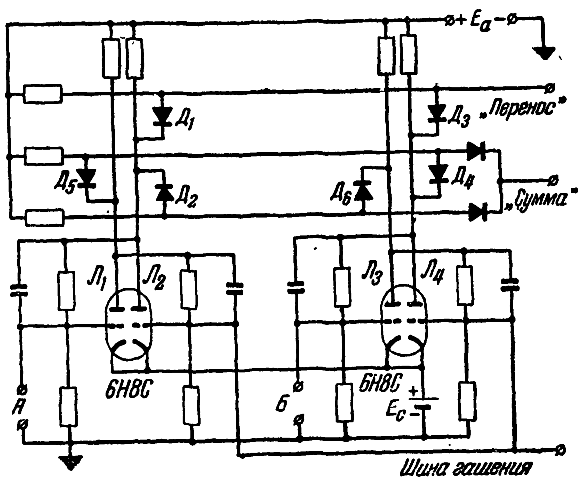


Рис. 34. Принципиальная схема полусумматора.

На рис. 34 дана принципиальная схема сумматора, в котором для выполнения операций применяется многопозиционный переключатель. Коды чисел *А* и *Б* в виде импульсов подаются на сетки лампы двух триггерных ячеек. В случае отсутствия импульсов на входах *А* и *Б* триоды $Л_1$ и $Л_3$ закрыты, а $Л_2$ и $Л_4$ открыты. При этом напряжение на выходных шинах «сумма» и «перенос» весьма мало, так как они заземляются через диоды $Д_1$ и $Д_2$ и открытые триоды $Л_2$ и $Л_4$. Если же на один из входов (например, *А*) подать положительный импульс, то триггер с $Л_1$, $Л_2$ опрокинется, диоды $Д_2$ и $Д_6$ запрутся и шина «сумма» окажется под потенциалом E_a. Шина же «перенос» останется заземленной через диод $Д_3$. Когда импульсы поступят одновременно на входы *А* и *Б*, наоборот,

шина «перенос» будет находиться под напряжением, а шина «сумма» заземлена, что соответствует коду «0» в цепи суммы и коду «1» в цепи переноса.

Таким образом, сумматор дает на одной шине результат суммирования одного разряда, а на другой перенос. Можно также построить сумматор с тремя входами для кодов чисел A и $Б$ и кода переноса, запоминаемого в линии задержки. Такой сумматор в состоянии непосредственно произвести сложение одновременно всех трех кодов.

14. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СУММАТОРЫ

В электронных цифровых машинах, где требуется высокая скорость осуществления арифметических операций, применяется более сложный параллельный сумматор, производящий суммирование кодов двух чисел одновременно по всем разрядам. Для параллельного суммирования необходимо столько одноразрядных сумматоров, сколько двоичных разрядов содержит код данного числа.

Блок-схема параллельного сумматора приведена на рис. 35. Складываемые числа A и $Б$ поступают в сумматор из запоминающего устройства машины и сохраняются в нем с помощью сдвигающих регистров. Последние состоят из ряда соединенных между собою триггеров T_1, T_2... и T'_1, T'_2..., в которых код числа поступает параллельно для всех разрядов. Каждый триггер хранит код одного разряда, так что для хранения числа, имеющего n двоичных разрядов, требуется n триггеров. Коды чисел, хранящиеся в регистрах, складываются одновременно по каждому разряду с помощью сумматоров Σ_1, Σ_2, Σ_3..., число которых равно числу разрядов. Каждый одноразрядный сумматор имеет три входа. На первый и второй входы подаются коды чисел A и $Б$ одного разряда, а на третий — код переноса из предыдущего разряда. В результате сложения кодов данного разряда на выходной шине «сумма» получается код суммы, а на шине «перенос» код «1» или «0» для переноса в следующий высший разряд.

Пусть, например, требуется сложить два числа: $A=5$ и $Б=3$.

При параллельном сложении этих чисел на входы A_1, A_2, A_3 и A_4 сумматора будут соответственно поданы коды $A_1=1$, $A_2=0$, $A_3=1$, $A_4=0$ и на входы $Б_1=1$, $Б_2=1$,

$Б_3=0$, $Б_4=0$. В результате суммирования кодов первого (низшего) разряда в сумматоре Σ_1, получим $1+1=0$ и код переноса «1» в следующий разряд. Сумматор Σ_2 будет суммировать три кода: коды A_2, $Б_2$ и код переноса из предыдущего сумматора Σ_1. В результате получится $0+1+1=0$ и код «1» переноса в следующий, третий, разряд. Сумматор Σ_3 складывает коды третьего разряда чисел A и $Б$ и код переноса «1» из второго разряда. На

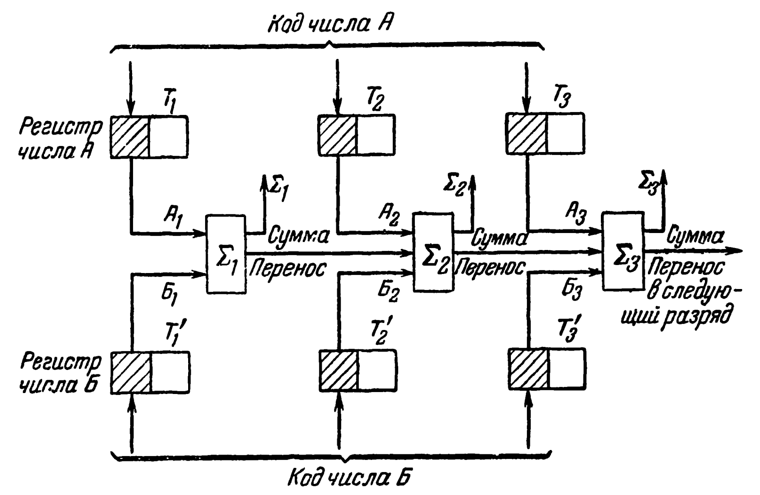


Рис. 35. Блок-схема параллельного сумматора.

его выходе будет иметь место код $1+0+1=0$ и снова код переноса «1» в следующий, четвертый, разряд. В итоге сложения на шинах «сумма» получится код $\boxed{0}\,1\,0\,0\,0$, что соответствует числу 8.

Процесс суммирования кодов производится одновременно всеми сумматорами, благодаря чему время сложения всего кода числа приближается к времени, требуемому для сложения кода одного разряда. Коды переноса поступают на вход следующего сумматора с некоторой задержкой во времени, но так как триггеры сохраняют коды складываемых чисел, то результат суммирования получается правильным.

При умножении и делении чисел A и $Б$ необходимо производить многократное сложение или вычитание кодов чисел со сдвигом их вправо или влево каждый раз

на один разряд. Эта операция сдвига кода числа осуществляется в самом регистре, который ввиду этого и называется сдвигающим.

В сумматорах параллельного типа, использующих триггеры в качестве запоминающих ячеек регистров чисел A и $Б$, суммирование сравнительно просто может осуществляться с помощью нескольких схем совпадений.

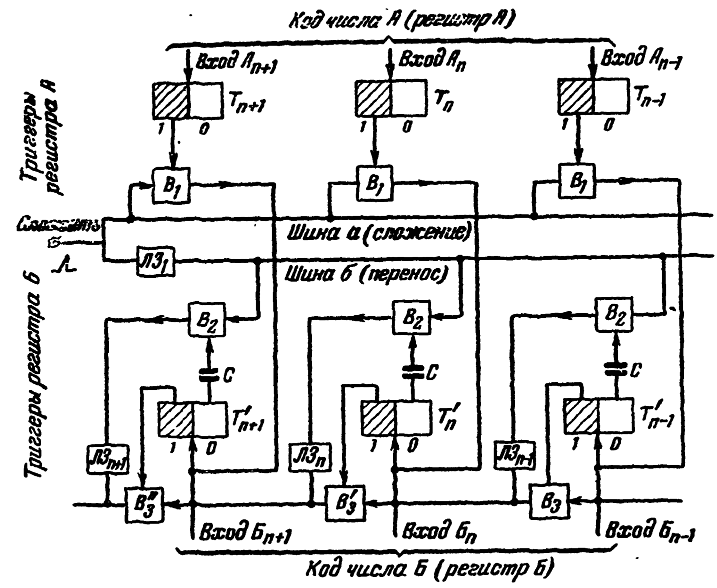


Рис. 36. Параллельный сумматор на статических триггерных ячейках.

Схема одного из таких параллельных сумматоров показана на рис. 36. Здесь результат суммирования фиксируется триггерными ячейками регистра $Б$ (куда ранее вводятся коды числа $Б$). Каждый разряд чисел A и $Б$ запоминается триггерной ячейкой.

Пусть, например, требуется сложить три разряда кодов чисел A и $Б$, каждый из которых имеет код «1». Тогда электроннные ключи $В_1$ будут открыты. При подаче на шину «сложить» импульса команды «сложение» этот импульс через открытый вентиль $В_1$ поступает на вход триггеров, запоминающих число $Б$. Если эти триггеры находились в положении кода «1», то они будут

переброшены из положения кода «1» в положение, соответствующее коду «0». Одновременно со срабатыванием триггеров на шину *б* через небольшую линию задержки $ЛЗ_1$ поступает импульс команды «сложить», сдвинутый относительно импульса на шине *а* на время срабатывания триггера.

Шина *б* управляет ключами B_2, через которые на вход триггера следующего разряда регистра *Б* поступает импульс переноса. Импульсы переноса при опрокидывании каждого триггера проходят через дифференцирующую емкость *С* и электронный ключ B_2. Они задерживаются и запоминаются на некоторое время в линиях задержки $ЛЗ_{n-1}$, $ЛЗ_n$ и т. д. Это происходит только в том случае, если триггеры T_{n-1}, T_n, T_{n+1} и т. д. опрокидываются из положения, соответствующего коду «1» в положение кода «0». При переходе же триггера из положения «0» в положение «1» ключ B_2 не пропускает импульс отрицательной полярности в линию задержки. Это достигается применением диодов, пропускающих импульсы только одной полярности.

Ключи B_3 служат для сокращения времени переноса. Они открыты, когда соответствующий триггер регистра *Б* находится в положении кода «1». Если все триггеры регистра *Б* находятся в положении, соответствующем коду «1», то все ключи B_3 открыты и импульс переноса от триггера T'_{n-1}, хранящийся в линии задержки $ЛЗ_{n-1}$, через вентили B'_3 и B''_3 пройдет в высший разряд регистра *Б* и одновременно перебросит все триггеры в положение «0».

Таким образом, цепь из вентилей B_3 позволяет сократить время, которое потребовалось бы для поочередного переброса каждого триггера при последовательной передаче импульса переноса через линии задержки от разряда к разряду.

Параллельный сумматор может быть осуществлен как со статическими, так и динамическими триггерами. Применение динамических триггеров дает возможность построить счетную машину с меньшим числом электронных ламп.

Скорость работы параллельного сумматора с триггерными ячейками весьма высока и достигает нескольких десятков микросекунд, включая ввод чисел в регистры

из запоминающего устройства, сдвиг чисел в регистрах и т. д. Сама же операция суммирования требует всего лишь нескольких микросекунд.

Рассмотрим теперь, как с помощью сумматора в арифметическом устройстве цифровой машины производится операция умножения. Коды множимого числа *А* и множителя *Б* вводятся из запоминающего устройства машины в регистры *А* и *Б* (рис. 37), состоящие из отдельных триггерных ячеек в каждом разряде. Код числа *А* при каждом суммировании через схемы совпадений «И»

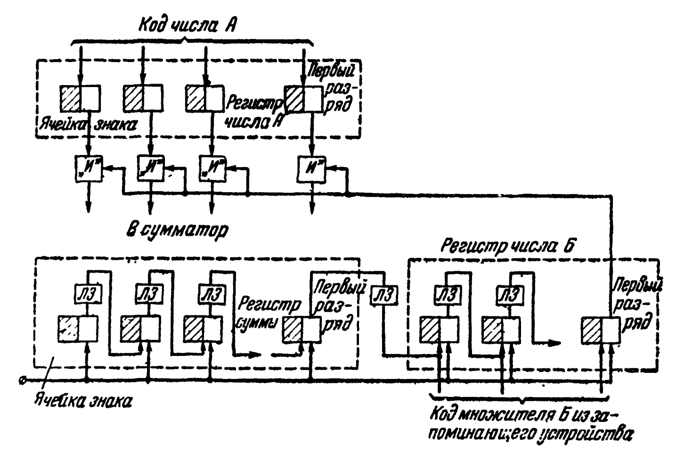


Рис. 37. Блок-схема умножения чисел.

сбрасывается в сумматор, где он складывается с находящимся там числом. В качестве сумматора используется описанный выше параллельный сумматор, в котором сумма получается на том же регистре, где ранее находилось одно из слагаемых. Для простоты на рис. 37 показан не весь сумматор, а только регистр суммы, где накапливается сумма частных произведений при умножении.

Процесс умножения заключается в том, что код множимого числа передается в сумматор, когда данный разряд множителя имеет код «1», и не передается, если разряд множителя имеет код «0». Соответственно этому при коде «1» в разряде множителя *Б* схемы совпадений «И» открыты, а при коде «0» закрыты. Перед каждым суммированием производится сдвиг числа на один разряд в регистре суммы и в регистре множителя, которые соединены последовательно и образуют как бы общий регистр

с двойным числом разрядов. Сдвиг на один разряд в обоих регистрах производится каждый раз, когда на шину сдвига (соединенную со входом «0» каждого триггера) подается синхронизирующий импульс. При этом код числа, находящийся в первом разряде регистра множителя *Б*, выходит из регистра в виде импульса для кода «1» или отсутствия его для кода «0». Импульс на выходе регистра *Б* управляет схемами совпадений «И», которые

Таблица 6

Порядок выполнения операций умножения двух чисел

Операция	Регистр суммы	Регистр множителя *Б*	Код импульса на выходе регистра *Б*
Начальное положение	00000	01011	
Первый сдвиг . . . . Прибавляем число *А*	00000 01101	00101	1
После первого суммирования . .	01101	00101	
Второй сдвиг . . . . Прибавляем число *А*	00110 + 01101	10010	1
После второго суммирования . .	10011	10010	
Третий сдвиг . . . . Число *А* не прибавляем, так как на выходе регистра *Б* код „0“	01001 00000	11001	0
После третьего сдвига	01001	11001	1
Четвертый сдвиг . . . . Прибавляем число *А*	00100→ +1101	11100	1
Сумма	10001	11100	
Пятый сдвиг . . . . Шестой сдвиг	01000 00100	11110 01111	0
	↑ Результат вычислений		

открываются, если разряд множимого, выходящий из регистра, имеет код «1».

Пусть требуется умножить 13 на 11. Порядок выполнения операций умножения при пяти разрядах в регистрах чисел *А, Б* и суммы показан в табл. 6.

Отсюда видно, что результат умножения получился в виде кода числа, имеющего двойное число разрядов. Этот код фиксируется в регистре суммы (высшие разряды произведения) и в регистре множителя (низшие разряды произведения). При подаче импульса сдвига коды чисел в регистре суммы и регистре *Б* одновременно сдвигаются влево. При этом низший разряд кода суммы сдвигается на один разряд в регистр множимого *Б* вместо кода числа *Б*, которое при перемещении влево оставляет свободным один (старший) разряд. Суммирование кода числа *А* с предыдущей суммой производится сумматором, каждый раз после очередного сдвига регистра суммы. Для получения правильного результата требуется произвести $n+1$ сдвигов и сложений, где n принятое число разрядов регистра. В нашем примере для пятиразрядного регистра требуется произвести шесть раз операцию сдвига и суммирования.

Преимуществом описанной схемы умножения является то, что в качестве регистра, фиксирующего результат умножения, использованы последовательно соединенные регистры сумматора и множителя *Б*. В виду этого произведение запоминается этими регистрами с двойным числом разрядов без применения специального регистра для произведения.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

15. ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ И ТРИГГЕРНЫЕ СХЕМЫ

Полупроводниковые триоды эффективно могут использоваться в импульсных схемах (триггерах, электронных переключателях, счетчиках импульсов и т. д.), так как здесь они работают в режиме «включено» — «выключено» и к ним не предъявляются высокие требования устойчивости характеристик.

Рассмотрим схему с одним точечным триодом (рис. 38,*а*), которая подобно триггерной ячейке может находиться в двух устойчивых состояниях равновесия: «включено» и «выключено». Положим, что начальным является состояние «выключено». В этом положении триод заперт напряжением смещения $E_э$, приложенным между базой *б* и эмиттером *э*. В отличие от электронной лампы полупроводниковый триод запирается не полностью и в запертом состоянии пропускает остаточный коллекторный ток $I_{к0}$ порядка нескольких десятых долей

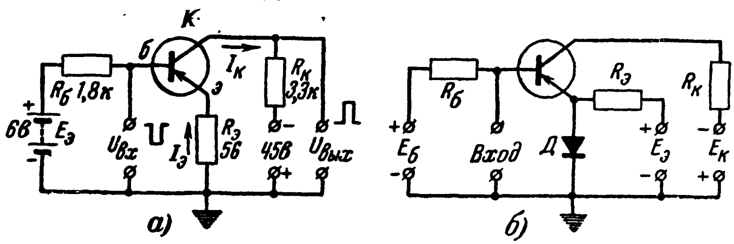


Рис. 38. Переключающиеся схемы с точечным полупроводниковым триодом.

миллиампера. Этот ток создает на сопротивлении $R_б$ напряжение $I_{к0}R_б$ меньшее, чем напряжение смещения $E_э$, вследствие чего напряжение на эмиттере остается отрицательным, ток эмиттера $I_э$ равен нулю, а ток коллектора $I_{к0}$ весьма мал.

Если теперь на базу триода подать отрицательный импульс (или положительный импульс на эмиттер), то триод переходит в состояние «включено», при котором ток коллектора резко увеличивается и достигает состояния насыщения. Действительно, при прохождении этого импульса в цепи эмиттера возникает ток $I_э$, протекающий через сопротивление $R_э$, эмиттер и сопротивление $R_б$. При увеличении тока $I_э$ ток $I_к$ в цепи коллектора также возрастает (коэффициент усиления точечного триода составляет 2—4), что вызывает увеличение падения напряжения на сопротивлении $R_б$. Это еще больше повышает напряжение и ток в цепи эмиттера. Описанный процесс продолжается до тех пор, пока ток коллектора $I_к$ не достигнет насыщения. Таким образом, сопротивление $R_б$ в

цепи базы является элементом положительной обратной связи, наличие которой и обеспечивает устойчивое включенное состояние триода и после прохождения входного импульса.

Обратное возвращение триода из включенного состояния в выключенное достигается подачей на базу положительного импульса. Это вызывает уменьшение тока эмиттера до нуля. С уменьшением тока эмиттера падает ток коллектора до величины $I_{к0}$. При переходе триода из состояния «включено» в состояние «выключено» на коллекторе возникает положительный импульс с амплитудой около 30 *в* при амплитуде переключающего импульса на базе в 3 *в*.

Недостатком рассмотренной схемы является ограниченная частота повторения импульсов. Объясняется это тем, что большой ток насыщения в цепи коллектора во включенном состоянии вызывает так называемый эффект накопления дырок в полупроводнике, вследствие которого требуется некоторое время (порядка нескольких десятых долей микросекунды) для выключения триода.

Частота повторения переключающих импульсов может быть повышена ограничением тока эмиттера, что, в свою очередь, ограничивает ток коллектора. Благодаря этому сокращается во времени эффект накопления дырок.

В схеме, приведенной на рис. 38,*б*, ограничение эмиттерного тока достигается посредством диода *Д*, шунтирующего цепь эмиттера. При увеличении коллекторного тока, протекающего также и через сопротивление $R_б$, возрастает напряжение как на $R_б$, так и на сопротивлении $R_э$. Вследствие нелинейности характеристики диода его сопротивление уменьшается и этим ограничивается увеличение тока эмиттера. Частота повторения переключающих импульсов в рассмотренной схеме может достигать 1 *Мгц* и больше в зависимости от предельной частоты примененного триода.

Точечный триод может быть использован также для получения схемы с одним устойчивым состоянием (рис. 39,*а*), аналогичной одновибратору. Эта схема отличается от схемы с двумя устойчивыми состояниями лишь параметрами ее элементов. Включение триодов производится отрицательным импульсом, приложенным к базе, и осуществляется только на время, равное длительности

этого импульса. При отсутствии включающего импульса триод не может оставаться во включенном состоянии, так как напряжение смещения $E_э$ здесь больше, чем падение напряжения на сопротивлении $R_б$, и триод запирается. Амплитуда коллекторного тока в этой схеме ограничена применением большего сопротивления $R_э$, чем в схеме рис. 38.

Одновибратор, схема которого приведена на рис. 39,*б*, не требует длительного импульса на входе для удерживания его на определенный отрезок времени во включенном состоянии. Здесь для этой цели используется конденсатор *C* в цепи эмиттера. При включении одновибра-

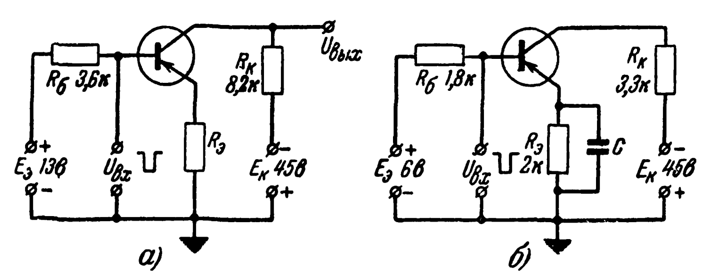


Рис. 39. Схемы с одним устойчивым состоянием равновесия.

тора отрицательным импульсом, приложенным к базе, конденсатор *C* заряжается. После прекращения импульса конденсатор постепенно разряжается через сопротивление $R_э$, и эмиттерный ток исчезает не сразу, а убывает в течение времени, определяемого постоянной времени цепи эмиттера. Когда ток эмиттера становится достаточно мал, то под действием напряжения $E_э$ триод запирается.

Недостатком описанных выше переключающих схем является недостаточная в некоторых случаях надежность положения «выключено». Коллекторный ток $I_{к0}$ в положении «выключено» сравнительно мал и непостоянен по величине (зависит от температуры и других факторов). Протекая через сравнительно большое сопротивление $R_б$ в цепи основного электрода, он вызывает на нем большое, изменяющееся по величине напряжение, которое может «включить» схему вследствие наличия положи-

тельной обратной связи. Для устранения этого явления и создания стабильного положения «выключено» на базу триода подают от дополнительного источника напряжение +50 *в* (рис. 40,*а*). Это вызывает ток $I_б$, протекающий через сопротивление $R_б$ и диод $Д_1$. Ток $I_б$ больше тока утечки коллектора $I_{к0}$, вследствие чего падение напряжения на сопротивлении $R_б$ определяется только этим током и не зависит от изменений $I_{к0}$. Диод $Д_1$ служит для ограничения напряжения между базой и

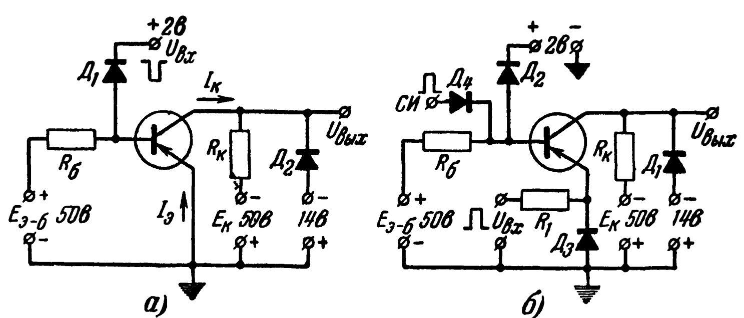


Рис 40. Переключающиеся схемы

«землей» до +2 *в*. Положение «включено» осуществляется подачей отрицательного импульса на катод диода $Д_1$. При этом напряжение $U_{вых}$ от величины —14 *в* падает до —4 *в*, т. е. на выходе возникает положительный импульс напряжения с амплитудой перепада 10 *в*.

Триод остается во включенном положении и после всчезновения отрицательного импульса. Действительно, после исчезновения включающего импульса диод $Д_1$ оказывается запертым напряжением смещения, близким к +2,5 *в*, так как падение напряжения между эмиттером и базой будет мало и равно примерно +0,5 *в* ($I_б R_э - E_{э\,б} = +0{,}5$ *в*).

Благодаря наличию положительной обратной связи состояние «включено» удерживается сколь-угодно долго. Благодаря ограничению напряжения на коллекторе и базе триод не может быть поврежден в процессе включения и выключения.

На рис. 40,*б* представлен вариант переключающей схемы, в которой переход в положение «включено» вы-

зывается положительным импульсом напряжения, подаваемым на эмиттер, или отрицательным импульсом, подводимым к катоду, диода $Д_2$. Обратное переключение в положение «выключено» достигается подачей положительного синхронизирующего импульса *СИ* на базу триода через диод $Д_4$. Длительность этого импульса должна быть не менее 5 *мксек*. Сопротивление R_1 служит для повышения входного сопротивления устройства.

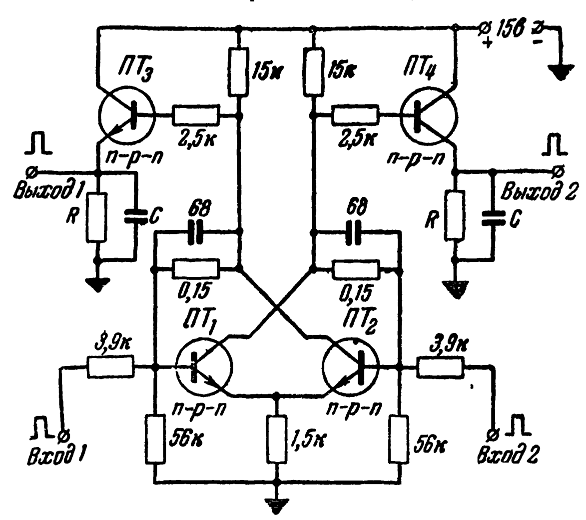


Рис 41. Триггер на плоскостных триодах типа *n-p-n*.

Плоскостные полупроводниковые триоды, обладающие более стабильными, чем точечные, характеристиками, большей надежностью и более низким сопротивлением в открытом состоянии, применяются вместо электронных ламп в обычной триггерной ячейке (рис. 41). Принцип действия такого устройства аналогичен принципу действия рассмотренной ранее триггерной ячейки с электронными лампами. Закрытое состояние триода $ПТ_1$ или $ПТ_2$ характеризуется более высоким напряжением на коллекторе, которое для данной схемы равно 12 *в*. У открытого триода напряжение на коллекторе составляет около 2 *в*, так как скачок напряжения на коллекторе при срабатывании триггера равен 10 *в*.

Триггерная ячейка имеет два входа и два выхода. На вход *1* или *2*, соединенные с базой, подается положитель-

ный импульс напряжения в несколько вольт. Напряжения, снимаемые с коллекторов триодов $ПТ_1$ и $ПТ_2$, усиливаются по мощности плоскостными триодами $ПТ_3$ и $ПТ_4$. Это дает возможность нагрузить выходы *1* и *2* триггера несколькими вентильными схемами, потребляющими сравнительно большой ток. Конденсаторы *C* на выходах служат для накопления заряда в промежутках между импульсами, перебрасывающими триггерную ячейку. Разряд конденсатора позволяет увеличить амплитуду тока в нагрузке, в то время как среднее значение тока коллектора, заряжающего конденсатор и определяемое допустимой мощностью рассеяния на нем, остается небольшим. Емкость конденсаторов *C* и величины сопротивлений *R* на выходе выбираются в зависимости от внешней нагрузки и частоты следования пусковых импульсов. В данном случае частота следования пусковых импульсов составляет около 100 *кгц*.

Описанный триггер некритичен к изменению параметров его деталей. Так, например, он нормально работает при отклонении величин сопротивлений до +25 или —50% от номинального значения. Изменение питающего напряжения на ±60% не нарушает работы схемы. Подбора по характеристикам триодов здесь не требуется. Кроме того, преимуществами этого триггера являются простота и надежность, а также некритичность его к амплитуде, фазе и длительности пусковых импульсов.

На рис. 42 показана схема триггерной ячейки, являющейся основным элементом одной из первых безламповых цифровых вычислительных машин. Амплитуда напряжения на коллекторах триодов ограничена до —5 *в* с помощью диода $Д_1$ и перехода эмиттер — база триода $ПТ_3$. Этот триод служит усилителем для индикаторных неоновых ламп *НЛ*, указывающих положение триггерной ячейки.

Импульсы напряжения на входе триггера имеют стандартную амплитуду в 5 *в*. Работа триггерной ячейки с таким небольшим входным сигналом и низким коллекторным напряжением имеет ряд существенных преимуществ. К числу их относится большая стабильность начального коллекторного тока и меньший расход энергии на заряд паразитных емкостей. Однако при низких коллекторных напряжениях трудно осуществить визуальную индикацию показаний состояния ячейки, так как неоно-

вые лампы требуют более высокого напряжения для зажигания. Поэтому в триггерном блоке и имеется специальный усилитель на триоде $ПТ_3$ с коллекторным напряжением +45 *в*.

Управляющие сигналы на вход триггера могут быть поданы как отдельно на каждую из ячеек (вход *1*, вход *0*), так и одновременно на обе половины ячейки (вывод *А*). Для сигнала гашения имеется отдельный вывод *Б*.

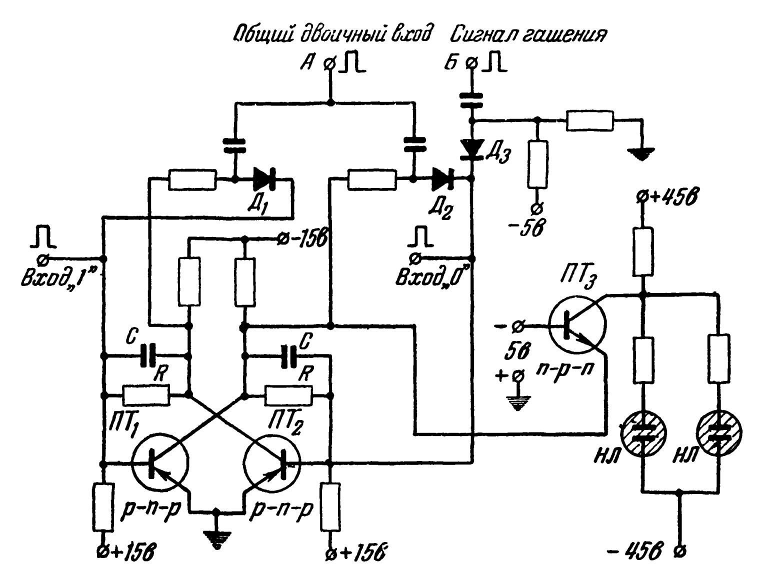


Рис. 42. Триггер на плоскостных триодах типа *р-п-р*.

Входные сигналы положительной полярности поданные на вход *1*, устанавливают триггер в состояние кода «1», при котором триод $ПТ_1$ заперт, а $ПТ_2$ проводит ток. Положительный сигнал на входе *0*, наоборот, запирает триод $ПТ_2$ и открывает триод $ПТ_1$. Номинальная частота работы триггера составляет 50 *кгц*.

Примененные плоскостные триоды типа *р-п-р* имели коэффициент усиления по току 40—90. Обратный (коллекторный) ток при температуре в 20° С составлял максимум 10 *мка* при напряжении 5 *в*. Начальный коллекторный ток у плоскостных триодов в 2 — 3 раза меньше, чем у точечных.

16. ИНВЕРТЕРЫ И ПОВТОРИТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ

Инвертеры-усилители и повторители импульсов служат для изменения знака сигнала и параллельного управления несколькими цепями. Инвертер (рис 43) может быть построен как на триодах с проводимостью типа *p-n-p*, так и на триодах с проводимостью типа *n-p-n*. При применении триодов *p-n-p* он дает на выходе положительный импульс напряжения. При применении же триодов типа *n-p-n* инвертер дает ток на выходе при наличии на входе отрицательного напряжения, что не может быть реализовано в схемах с электронными лампами.

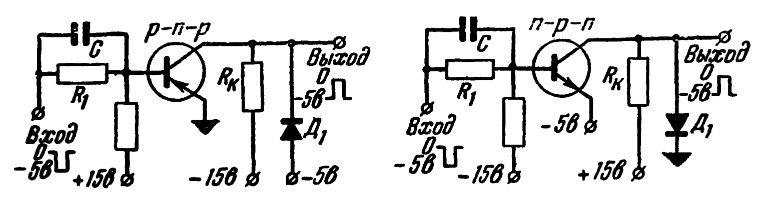


Рис. 43 Инвертеры

В инвертере (рис. 43,*а*) применен триод с проводимостью типа *p-n-p*. В отсутствие сигнала он нормально полузакрыт, причем напряжение на его базе близко к нулю, а на коллекторе равно —5 *в*. Для ограничения коллекторного напряжения до —5 *в* служит диод $Д_1$ Этот фиксируемый уровень мало зависит от характера нагрузки на выходе. Кроме этого, уменьшается время выключения емкостной нагрузки на выходе, так как она не должна заряжаться до более высокого уровня напряжения, чем —5 *в*.

Если подать на базу отрицательный импульс с амплитудой в —5 *в*, то триод полностью откроется и напряжение на его коллекторе станет близким к нулю.

Для уменьшения эффекта накопления дырок в полупроводнике триода уровень коллекторного тока ограничивается до 5 *ма* выбором сопротивления $R_к$. Сопротивление R_1 на входе ограничивает напряжение между базой и эмиттером до 4 *в*. При этом напряжении триод, имеющий даже минимальный коэффициент усиления, находится в состоянии насыщения. Конденсатор *C*, заряжаясь при включении триода, обеспечивает быстрое его выключение за счет емкостного тока при разряде.

Инвертер с триодом n-p-n (рис. 43,б) работает аналогично. При отсутствии сигнала триод проводит ток, и напряжение на коллекторе равно —5 *в*. Импульс на входе в —5 *в* выключает триод, в результате чего напряжение на коллекторе падает до значения, близкого к нулю, которое фиксируется диодом $Д_1$.

Схемы эмиттерных повторителей на полупроводниковых триодах, подобных катодным повторителям на электронных лампах, показаны на рис. 44. Усиление по напряжению, даваемое ими, меньше единицы. На вход повторителя подаются отрицательные импульсы. Сигнал такой же полярности получается и на выходе

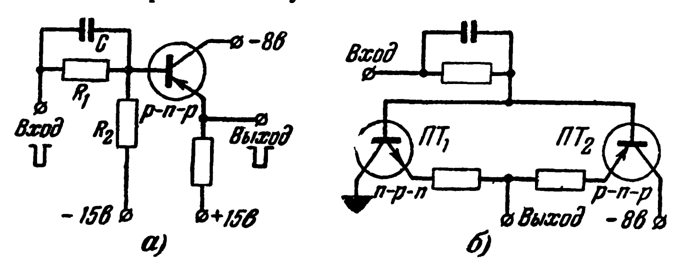


Рис 44. Эмиттерные повторители.

Делитель напряжения из сопротивлений R_1 и R_2 (рис. 44,*а*) и напряжение, приложенное к сопротивлению R_2, подбираются такими, чтобы начальные уровни выходного и входного сигналов были равны между собой. Это сделано с целью предотвращения смещения уровня напряжения на выходе.

Конденсатор *С* служит для уменьшения «выброса» амплитуды выходного сигнала, который получается при емкостной нагрузке. Напряжение на коллекторе (— 8 *в*) выбирается более высоким, чем наибольший возможный отрицательный потенциал (— 5 *в*) на входе. Это предотвращает проникновение носителей зарядов из области коллектора в область базы и повышает сопротивление перехода эмиттер — база, нагружающего источник входного сигнала, когда напряжение на базе равно — 5 *в*. Кроме того, это сокращает время нарастания входного сигнала. В случае, когда необходимо получить быстрое нарастание и спадание сигнала на выходе, при значительной емкостной нагрузке применяют так называемый «двухтактный» эмиттерный повторитель

(рис. 44,*б*). Здесь соединены последовательно триоды двух типов: *n-p-n* и *p-n-p*. При изменении напряжения, приложенного на их базы, ток в цепи коллектора одного триода увеличивается, а в цепи другого уменьшается.

Положительный импульс на входе запирает триод $ПТ_2$, а триод $ПТ_1$ открывает и последний пропускает ток в нагрузку. При отрицательном импульсе, наоборот, триод $ПТ_1$ заперт, а триод $ПТ_2$ открыт и через него разряжается емкостная нагрузка. Это создает на выходе сигнал другой полярности. Подобный повторитель может управлять одновременно двенадцатью триггерными ячейками на полупроводниковых триодах, работающих с частотой повторения импульсов 50 *кгц*.

17. ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ НА ТРИОДАХ И ДИОДАХ

В логических схемах «И», «ИЛИ» и «НЕТ» полупроводниковые триоды используются главным образом как усилители на выходе схем совпадений и несовпадений.

Рассмотрим схему совпадений (рис. 45), в которой применен плоскостной триод с проводимостью типа *p-n-p*. При отсутствии сигналов U_1 и U_2 на входах диоды $Д_1$ и $Д_2$ открыты и почти все напряжение источника тока (—10 *в*) падает на сопротивлении R_1. Вследствие этого напряжение на базе триода близко к нулю и он почти не проводит ток. В случае совпадения положительных импульсов на входах диоды $Д_1$ и $Д_2$ запираются и отрицательное напряжение на базе триода резко возрастает. При этом ток в цепи коллектора также увеличивается и на выходе возникает положительный импульс напряжения. Преимуществом применения здесь плоскостного триода является высокое входное и низкое выходное сопротивление при открытом состоянии триода. Наоборот, когда триод почти заперт, входное сопротивление является небольшим, а выходное велико. Ток от источников сигналов U_1 и U_2 должен быть достаточен для того, чтобы противодействовать начальному току $I_{к0}$ коллектора, который протекает через сопротивление R_2, и току в цепи база — эмиттер, протекающему через сопротивление R_1.

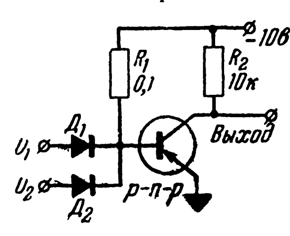


Рис. 45. Схема совпадений.

В безламповых цифровых машинах схемы совпадений выполняются на полупроводниковых триодах. Одна из таких схем приведена на рис. 46. В ней оба триода ис-

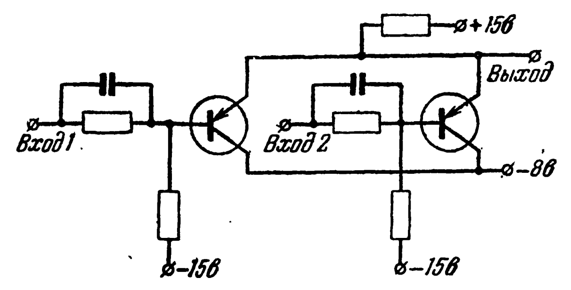


Рис. 46. Схема совпадений на полупроводниковых триодах.

пользуются как эмиттерные повторители входных сигналов. При отсутствии сигналов триоды проводят ток, и напряжение на выходе близко к напряжению на коллекторе. Если на входы *1* и *2* подать положительные импульсы, запирающие триоды, то при совпадении сигналов на выходе будет возникать положительный импульс.

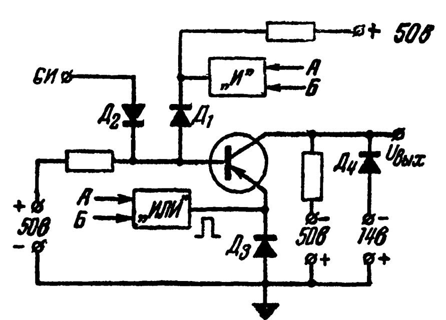


Рис. 47. Схема несовпадений.

Схема несовпадений[1] приведена на рис. 47. Действует она следующим образом. При совпадении входных сигналов *А* и *Б* схема совпадений «И» запирает диод $Д_1$ положительным импульсом. Триод окажется запертым, несмотря на то, что на эмиттер при этом подаются те же входные импульсы. Для того чтобы триод был открыт,

[1] На точечном триоде.

необходимо, чтобы имел место лишь один из входных импульсов $А$ или $Б$. Тогда на выходе схемы совпадений «И» не будет импульса, запирающего триод.

Более развитая схема несовпадений на точечных триодах, основанная на этом принципе, показана на рис. 48

При отсутствии импульсов на входах $А$ и $Б$ потенциал эмиттера с помощью диода $Д_4$ и сопротивления R_2 поддерживается близким к нулю. Аноды диодов $Д_1$ и $Д_2$ при этом имеют потенциал — 14 *в*. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ составляют схему «ИЛИ» Они проводят ток, когда на их аноды

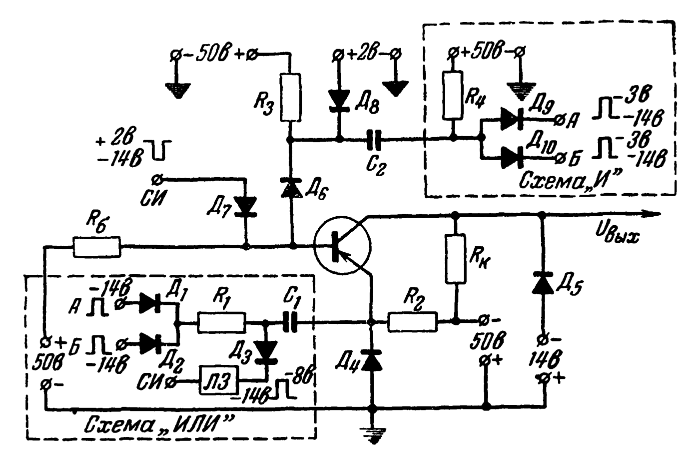


Рис 48 Принципиальная схема несовпадений на точечном триоде

поступают внешние положительные импульсы $А$ и $Б$ с амплитудой в 11 *в* Таким образом потенциал на входе изменяется от — 14 до — 3 *в*

Для того чтобы схема «ИЛИ» не включала триод раньше, чем поступит импульс от схемы «И», на катод диода $Д_3$ подается задержанный на 0,5 *мксек* синхронизирующий импульс обратной (положительной) полярности относительно основного синхронизирующего импульса

До поступления задержанного синхронизирующего импульса катод диода $Д_3$ находится под напряжением — 14 *в* и диод проводит ток. Поэтому входные импульсы $А$ и $Б$, проходящие через схему «ИЛИ», замыкаются через сопротивление R_4 и диод $Д_3$ и не поступают на эмиттер. Положительный импульс от схемы «ИЛИ» проходит на эмиттер только через 0,5 *мксек* после подачи импульсов

А и *Б*, когда на катод диода $Д_3$ через линию задержки *ЛЗ* поступает запирающий положительный синхронизирующий импульс. Диод $Д_4$ служит для ограничения напряжения на эмиттере запертого триода. Емкость конденсатора C_1 выбирается сравнительно большой с целью увеличения амплитуды импульса, поступающего на эмиттер от схемы «ИЛИ»

Когда на эмиттер триода поступает от схемы «ИЛИ» положительный импульс, потенциал эмиттера повышается до 6 *в*. Потенциал же базы в отсутствие запрещающего импульса от схемы «И» поддерживается на уровне +2 *в*. В результате на эмиттере триода относительно его базы действует напряжение +4 *в* и триод открыт. При наличии же запрещающего импульса, как будет показано ниже, потенциал базы превышает +6 *в*, и триод заперт.

Запрещающий импульс положительной полярности возникает на выходе схемы «И», когда на оба ее входа *А* и *Б* поступают одновременно положительные импульсы, изменяющие уровень напряжения на катодах диодов $Д_9$ и $Д_{10}$ от — 14 до — 3 *в* Этот «запирающий» импульс проходит через конденсатор C_2 на диод $Д_8$ и запирает его

Положим, что через сопротивление R_3 и диод $Д_8$ протекает ток 4 *ма* и что установившийся на базе триода потенциал не превышает +2 *в*. При подаче положительного запрещающего импульса на катод диода $Д_8$ потенциал основания повышается до +13 *в*, и триод запирается. Вследствие этого при наличии запрещающего импульса импульс напряжения на выходе устройства не возникает, несмотря на то, что на эмиттер подается положительный импульс от схемы «ИЛИ». Если же запрещающий импульс отсутствует, т е имеется только один из импульсов, *А* или *Б*, на коллекторе появляется положительный импульс $U_{вых}$.

Описанная схема «НЕТ» в сочетании со схемой «И» может быть применена для образования более сложных логических схем, например одноразрядного сумматора

18. ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ СХЕМЫ НА ТРИОДАХ С ПОВЕРХНОСТНЫМ БАРЬЕРОМ

Полупроводниковый триод с поверхностным барьером представляет собой пластинку из *n*-германия, в которой электрохимическим способом вытравлены две лунки, покрытые тонким слоем индия Между пластинкой *n*-герма-

ния и индием образуются два p-n перехода. Толщина пластинки n-германия между индиевыми электродами (эмиттером и коллектором) составляет всего лишь 5 *мк*. Благодаря этому триоды с поверхностным барьером могут работать при частоте следования импульсов 30—60 *Мгц* и более. (В последнее время появились отечественные диффузионные полупроводниковые триоды, работающие на частоте 30—50 *Мгц* и более.) Они значительно экономичнее триодов с точечными контактами и потребляют ничтожную мощность (несколько сотых долей ватта). Устройства на триодах этого типа требуют только одного источника питания с очень низким напряжением (порядка 1,5—3 *в*)

Коллекторный ток триода имеет резкую отсечку при напряжениях на базе, меньших, чем 0,1—0,125 *в*. Он достигает насыщения при напряжениях на коллекторе, меньших 0,1 *в*. При дальнейшем увеличении напряжения на коллекторе коллекторный ток так же, как и анодный ток у пентода, почти не зависит от коллекторного напряжения. Напряжения, которые необходимо подать на базу, чтобы «открыть» триод, лежат в линейной области коллекторной характеристики. Это позволяет непосредственно соединять коллектор триода одного усилительного каскада с базой триода другого каскада.

На рис. 49 показано непосредственное последовательное соединение двух триодов. Если к базе триода $ПТ_1$ приложено отрицательное напряжение, то он открыт и через него проходит ток насыщения коллектора. Напряжение на коллекторе триода $ПТ_1$ в этом случае мало, так как бо́льшая часть напряжения источника тока падает на сопротивлении R_1. Поэтому триод $ПТ_2$ остается в закрытом состоянии. Наоборот, когда к базе триода $ПТ_1$ не прикладывается отрицательное напряжение извне, он закрыт, а триод $ПТ_2$ открыт. Действительно большое отрицательное напряжение на коллекторе $ПТ_1$ будет достаточно для того, чтобы в цепи база — эмиттер триода $ПТ_2$ протекал достаточный ток, чтобы его открыть. При этом напряжение на коллекторе триода $ПТ_1$ составляет 0,35 *в* (закрытое состояние $ПТ_1$), а на коллекторе $ПТ_2$ оно равно 0,03 *в* (открытое состояние $ПТ_2$).

При закрытом состоянии триода ток в цепи коллектора составляет 15 *мка* и ток в цепи базы — около 5 *мка*. В открытом состоянии коллекторный ток равен 1,47 *ма*,

а ток базы — 1,15 *ма*. Эти значения токов типичны для работы триодов этого типа с напряжением источника питания в 1,5 *в* и сопротивлением нагрузки 1 *ком*. С повышением окружающей температуры начальное значение коллекторного тока $I_{к0}$ увеличивается и для надежной работы триода необходимо уменьшить нагрузочное сопротивление с тем, чтобы скомпенсировать падение напряжения на сопротивлении R_1 при увеличении начального коллекторного тока $I_{к0}$ в закрытом состоянии триода.

Если коллектор триода $ПТ_2$ соединить с базой триода $ПТ_1$ (рис. 50), то получится триггерная или перекидывающаяся схема с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Когда триод $ПТ_1$ закрыт, отрицательное напряжение, снимаемое с его коллектора, достаточно, чтобы открыть триод $ПТ_2$, коллекторный ток которого достигнет насыщения. Напряжение, снимаемое с коллектора триода $ПТ_2$ при этом будет недостаточно, чтобы открыть триод $ПТ_1$, и он сколь-угодно долго может находиться в закрытом состоянии. Если, наоборот, триод $ПТ_1$ открыт, то триод $ПТ_2$ будет закрыт, так как напряжение, снимаемое с коллектора триода $ПТ_1$, будет недостаточно, чтобы открыть триод $ПТ_2$.

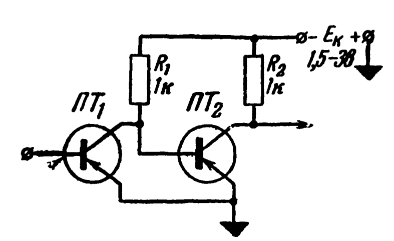


Рис 49. Схема соединения триодов между собой

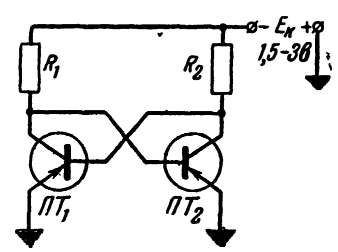


Рис 50 Триггерная схема

В открытом состоянии триода $ПТ_1$ через сопротивление R_1 протекает в основном коллекторный ток. В закрытом же состоянии через это сопротивление протекает в основном ток база — эмиттер второго триода $ПТ_2$.

Пусковой сигнал для переброса триггера из одного состояния в другое может быть подан через промежуточный триод $ПТ_3$ (рис. 51). Положим, что триод $ПТ_1$ закрыт, а $ПТ_2$ открыт. Если на базу закрытого триода $ПТ_3$ подать отрицательный импульс, то триод $ПТ_3$ откроется

и его коллекторный ток достигает насыщения. Напряжение же на коллекторе триода $ПТ_3$ станет близким к нулю. Так как коллектор триода $ПТ_3$ непосредственно связан с коллектором $ПТ_1$ и базой $ПТ_2$, то при уменьшении напряжения на коллекторе $ПТ_3$ почти до нуля уменьшится

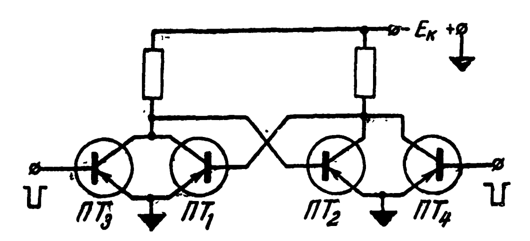


Рис. 51. Подача пускового сигнала на триггер.

ток в цепи база—эмиттер триода $ПТ_2$. Это вызовет увеличение напряжения на коллекторе триода $ПТ_2$. В результате триод $ПТ_1$ откроется, а $ПТ_2$ окажется закрытым. Такое состояние будет устойчивым и после того, как пусковой импульс прекратится.

Для надежного переключения триггера длительность пускового импульса на базе триода $ПТ_3$ должна быть не менее 0,2 *мксек*, а амплитуда 0,15—0,25 *в*, в зависимости от значения сопротивлений, включенных в цепи коллектора. Увеличение этих сопротивлений позволяет уменьшить пусковой импульс, так как при этом должны быть меньшие токи в цепи база — эмиттер.

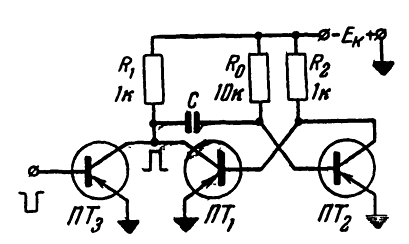


Рис. 52. Схема одновибратора.

Если триод $ПТ_2$ заперт, а $ПТ_1$ открыт, то переключение схемы может быть произведено подачей отрицательного импульса на базу триода $ПТ_4$.

Схема одновибратора приведена на рис. 52. В нем база триода $ПТ_2$ через сопротивление R_0 присоединена к отрицательному полюсу источника питания. Это сопротивление выбирается таким, чтобы ток в цепи база — эмиттер триода $ПТ_2$ был достаточен для сохранения этого триода в открытом состоянии. Коллектор триода $ПТ_2$

непосредственно присоединен к базе $ПТ_1$, как и в триггерной схеме. Ввиду этого триод $ПТ_1$ нормально закрыт. Коллектор триода $ПТ_1$ через конденсатор C связан с базой триода $ПТ_2$. Сопротивления R_1 и R_2 взяты по 1 *ком*, а сопротивление $R_0 = 10$ *ком*. Вследствие этого в нормальном состоянии триод $ПТ_2$ открыт и напряжение на его коллекторе составляет около 0,03 *в*. При таком напряжении на базе триод $ПТ_1$ заперт. Напряжение же на коллекторе $ПТ_1$ близко к —1,5 *в*.

Положим теперь, что в какой-то момент времени на базу триода $ПТ_3$ подан отрицательный импульс, под действием которого этот триод открылся. В этом случае напряжение на коллекторе триода $ПТ_3$, а следовательно, и на коллекторе триода $ПТ_1$ становится близким к нулю (— 0,03 *в*). Положительный импульс, возникающий на коллекторе триода $ПТ_3$, через конденсатор C поступает на базу триода $ПТ_2$ и запирает его. При этом большое отрицательное напряжение на коллекторе триода $ПТ_2$, будучи подано на базу триода $ПТ_1$, откроет последний. Таким образом, одновибратор оказывается в переброшенном состоянии. Это состояние сохраняется до тех пор, пока конденсатор C не разрядится настолько, что отрицательное напряжение на базе триода $ПТ_2$ снова откроет его и одновибратор возвратится в исходное состояние.

Время, в течение которого одновибратор находится в переброшенном состоянии (0,2—13 *мксек*), зависит от постоянной времени цепи разряда конденсатора C. Отрицательное напряжение, постоянно присоединенное извне на базу триода $ПТ_3$, может удерживать одновибратор в переброшенном состоянии сколь-угодно долго.

Во избежание неустойчивой работы одновибратора сопротивление R_0 должно быть не слишком большим.

19. ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ НА ТРИОДАХ С ПОВЕРХНОСТНЫМ БАРЬЕРОМ

На рис. 53 дана логическая схема «ИЛИ» на трех полупроводниковых триодах. Если на базу какого-либо из триодов подать отрицательный импульс, то этот триод откроется, через сопротивление R пройдет относительно большой коллекторный ток и напряжение на выходе схемы упадет от — 1,5 *в* почти до нуля, т. е. на выходе возникнет положительный импульс напряжения.

В цифровых вычислительных устройствах часто требуется управлять несколькими триодами от одного триода, который в свою очередь сам управляется (например, от триггера или другого вентиля). На рис. 54 показана схема параллельного управления тремя триодами $ПТ_1$, $ПТ_2$ и $ПТ_3$ одним триодом $ПТ_0$. При отсутствии импульса на базе триода $ПТ_0$ он заперт, а триоды $ПТ_1$, $ПТ_2$ и $ПТ_3$

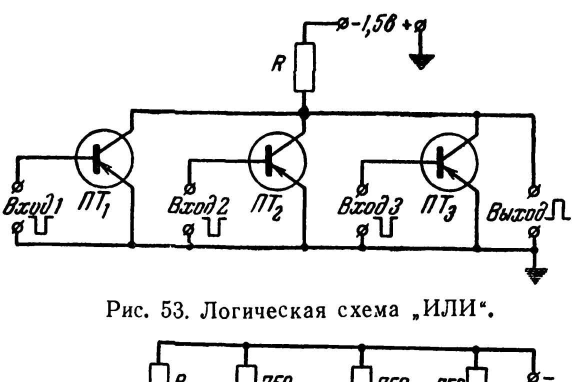


Рис. 53. Логическая схема „ИЛИ".

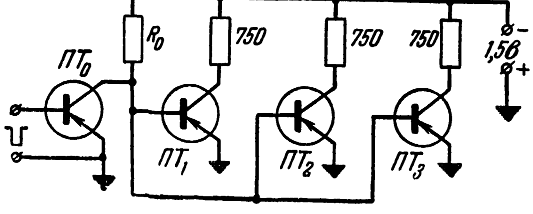


Рис. 54. Параллельное управление триодами.

открыты, так как на их базе имеет место отрицательный потенциал, близкий к — 1,5 *в*. Если же на базу триода $ПТ_0$ поступит отрицательный импульс, то на время действия импульса он откроется, а триоды $ПТ_1$, $ПТ_2$ и $ПТ_3$ закроются положительным импульсом, возникающим на сопротивлении R_0.

Для того чтобы триоды $ПТ_1$, $ПТ_2$ и $ПТ_3$ первоначально были открыты, сопротивление R_0 должно быть не слишком большим, иначе ток, протекающий через него, окажется недостаточным для отпирания этих триодов.

Кроме параллельного, возможно также последовательное или каскадное соединение триодов. Подобная схема представляет собой схему совпадений или логическую схему «И».

Рассмотрим схему трех совпадений (рис. 55). Положим, что напряжение на базе триодов $ПТ_1$, $ПТ_2$ и $ПТ_3$ равно нулю. Тогда все три триода закрыты и коллекторный ток последовательно соединенных триодов весьма мал. Напряжение на выходе $U_{вых}$ в этом случае близко

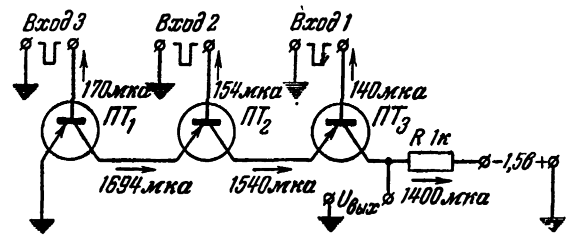


Рис. 55. Схема трех совпадений.

к напряжению источника питания (—1,5 *в*). Если на базы всех трех триодов подать отрицательное напряжение, то все они будут открыты и через последовательную цепь триодов и сопротивление *R* пройдет коллекторный ток. При этом достаточно хотя бы один из триодов

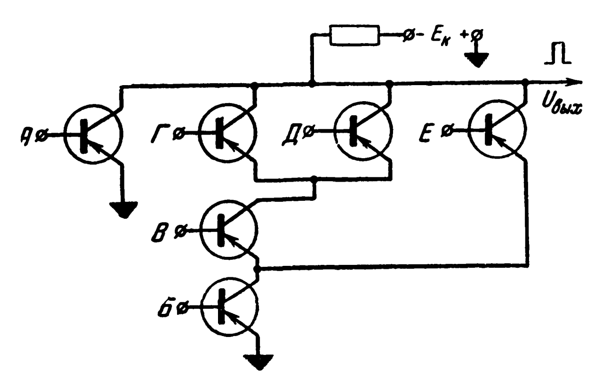


Рис. 56. Более сложная логическая схема из схем „ИЛИ" и „И".

закрыть, чтобы ток в цепи прекратился. Таким образом, импульс на выходе возникнет лишь в том случае, когда на все три входа будут одновременно поданы импульсы.

Логические схемы «ИЛИ» и «И» могут применяться в различных комбинациях. Одна из таких схем показана на рис. 56. Здесь импульс на выходе получается в сле-

дующих случаях: когда на вход *А* подан отрицательный импульс; при подаче на входы *Б*, *В* и *Г* или *Б*, *В* и *Д* отрицательных импульсов, совпадающих во времени; если совпадающие во времени отрицательные импульсы поданы на входы *Б* и *Е*.

20. СДВИГАЮЩИЕ РЕГИСТРЫ

Сдвигающий регистр на точечных полупроводниковых триодах (рис. 57) состоит из запоминающих ячеек с триодами $ПТ_1$ и $ПТ_2$, фиксирующих код числа, и временно запоминающих ячеек с триодами $ПТ_3$ и $ПТ_4$, слу-

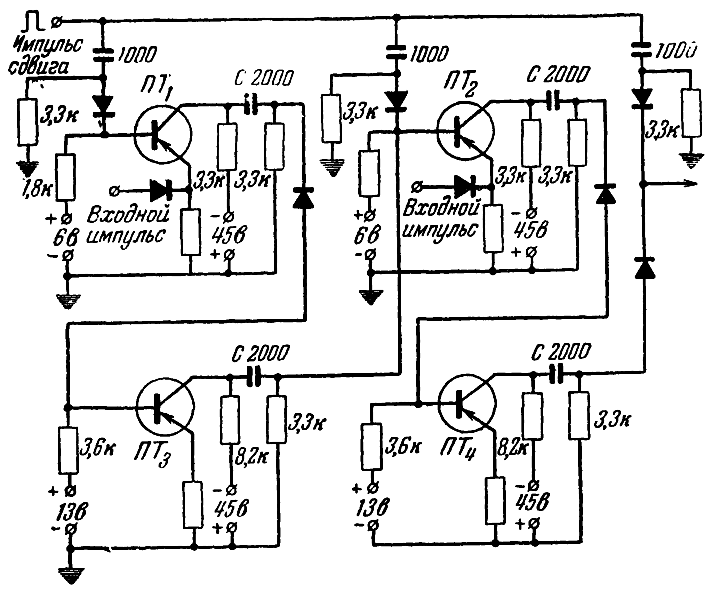


Рис. 57. Сдвигающий регистр на точечных триодах.

жащих для запоминания импульса переноса, возникающего после подачи сдвигающего импульса.

Запоминающие ячейки с $ПТ_1$, $ПТ_2$ и т. д. каждого разряда регистра представляют собою переключающуюся схему с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Состояние «включено» соответствует коду «1», а состояние «выключено» коду «0». Напряжение с выхода каждой запоминающей ячейки подается через конденсатор *С* на вход временно запоминающей ячейки ($ПТ_3$, $ПТ_4$) с одним

устойчивым состоянием равновесия. Последняя «задерживает» поступающий импульс переноса на время, равное ширине сдвигающего импульса.

Сдвигающий импульс положительной полярности подается на базу триодов всех запоминающих ячеек и перебрасывает все открытые ячейки в состояние «выключено». При этом импульс отрицательной полярности с коллектора триода, находящегося в положении кода «1», передается на базу триода, временно запоминающего код, и перебрасывает его в состояние «включено». По окончании сдвигающего импульса временно запоминающая ячейка возвращается в первоначальное состояние и с ее выхода посылается отрицательный импульс на базу триода следующей запоминающей ячейки. Таким образом производится сдвиг кода числа на один разряд.

Недостатком рассмотренного регистра является сравнительно низкая скорость работы вследствие эффекта дырочного накопления. Большей скоростью работы обладает регистр, выполненный по схеме рис. 58. В нем ток эмиттера (а следовательно, и коллектора) триодов в открытом состоянии ограничивается диодами $Д_1$. Все запоминающие ячейки взяты с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Сдвигающий импульс положительной полярности с шины *1* подается на входы верхних запоминающих ячеек и переводит включенные ячейки в положение «выключено». Импульс переноса отрицательной полярности с коллектора верхних ячеек, имевших код «1», поступает на вход низших ячеек, служащих для временного запоминания. Через некоторое время задержанный синхронизирующий импульс подается на шину *2*, т. е. на базы триодов всех временнно запоминающих ячеек. При этом нижние ячейки, которые находятся в состоянии «включено», переходят в состояние «выключено». Одновременно с выхода их подается отрицательный импульс в запоминающую ячейку следующего разряда регистра, чем заканчивается сдвиг кода числа на один разряд.

Для увеличения чувствительности и сокращения времени запирания триодов положительными импульсами, подаваемыми на их базу, в цепи базы триодов включены дополнительные катушки индуктивности по 100 *мкгн* и диоды $Д_2$. Описанная схема позволяет получить стабильную работу сдвигающего регистра на частоте порядка 1 *Мгц*.

Схема более экономичного сдвигающего регистра, содержащего вдвое меньшее число триодов, показана на рис. 59. Регистр состоит из отдельных запоминающих код числа триодов, соединенных последовательно. Вместо линий задержки, которые применяются в сдвигающем регистре на электронных лампах, здесь использована схема с конденсатором

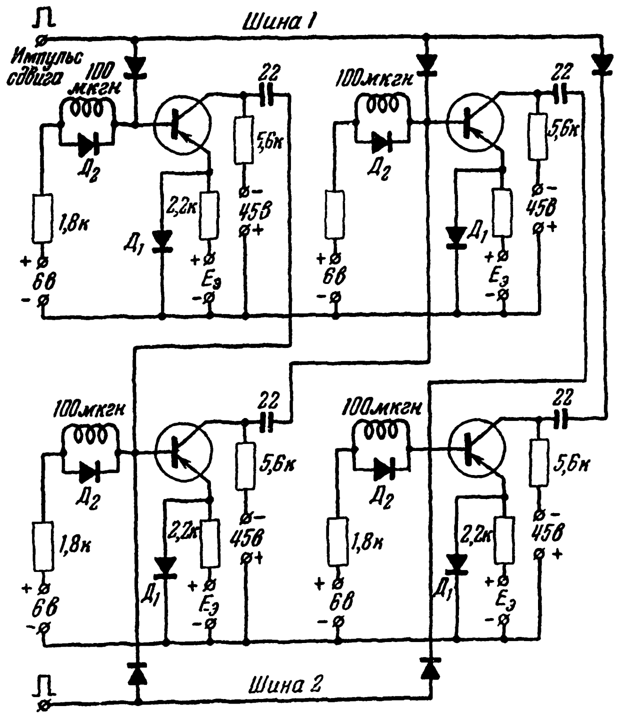


Рис. 58. Сдвигающий регистр с повышенной частотой работы

Сдвигающий импульс положительной полярности подается на шину сдвига и через диоды $Д_3$, $Д_9$ и т. д поступает на базы триодов. Он «выключает» все триоды, что соответствует коду «0». Длительность сдвигающего импульса составляет 5 *мксек*, а промежуток между ними 3 *мксек*. После окончания каждого сдвигающего импульса на шину *СТ* сразу же подается особый, так называемый «стробирующий», импульс положительной поляно-

сти и длительностью в 1 *мксек* Он через конденсатор C_1 и диод $Д_6$ поступает на эмиттер следующего триода и включает его, если предыдущий триод до подачи сдвигающего импульса был в положении «включено».

Пусть, например, триод $ПТ_1$ перед сдвигающим импульсом был включен. Тогда, напряжение $U_{вых}$ на его коллекторе составляет около —3 *в*. Это напряжение через прямое сопротивление диода $Д_5$ заряжает конденсатор C_1, в результате чего потенциал в точке *а* также

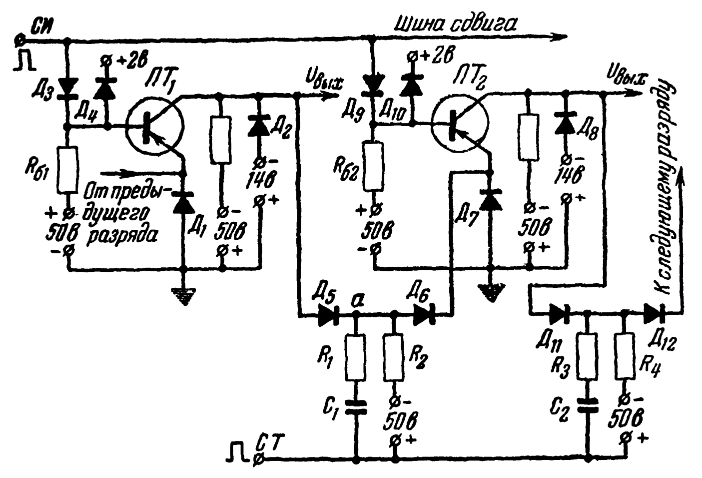


Рис 59 Сдвигающий регистр с одним триодом в каждом разряде

близок к —3 *в*. Сдвигающий импульс произведет переключение триода $ПТ_1$ в положение «выключено», и напряжение на его коллекторе изменится до —14 *в* Потенциал же анода $Д_6$ и конденсатора C_1 останется прежним, т е. равным —3 *в*, так как диод $Д_5$ будет заперт. После этого положительный стробирующий импульс с амплитудой в +10 *в* поступит на конденсатор C_1, который начнет разряжаться через цепь эмиттера следующего триода и диод $Д_6$, что включит триод $ПТ_2$. За время стробирующего импульса конденсатор C_1 успевает разрядиться.

Если триод $ПТ_1$ включен, то отрицательный фронт стробирующего импульса понижает потенциал точки *а* до —3 *в*, который ограничивается диодом $Д_5$ Следую-

щий стробирующий импульс включит триод $ПТ_2$, так как положение триода $ПТ_1$ соответствует коду «1».

При выключенном триоде $ПТ_1$ отрицательный фронт стробирующего импульса понижает потенциал точки *a* до —10 *в*. Следующий стробирующий импульс полностью разряжает конденсатор; импульс тока в цепи эмиттера триода $ПТ_2$ отсутствует и он не включается.

Таким образом, конденсатор C_1 пропускает импульс тока на эмиттер триода $ПТ_2$, когда триод $ПТ_1$ находится в положении, соответствующем коду «1», и не пропускает, когда этот триод находится в положении кода «0». Сопротивление R_1 ограничивает ток заряда конденсатора C_1 и разрядный ток в цепи эмиттера триода $ПТ_2$.

Если сдвигающие импульсы следуют с большими интервалами, то обратная проводимость диодов $Д_6$, $Д_{12}$... может быть причиной заряда конденсаторов C_1, C_2... положительным напряжением. Это может дать ложные импульсы, соответствующие коду «1». Для предотвращения появления ложных импульсов включены сопротивления R_2, R_4 и т. д.

21. СУММАТОРЫ

Принцип действия сумматоров на полупроводниковых триодах ничем не отличается от принципа действия сумматоров с электронными лампами рассмотренных ранее. Так, например, последовательный одноразрядный сумматор на точечных триодах (рис. 60) состоит из двух схем несовпадений *1* и *3*, двух схем совпадений *2* и *4* и схемы задержки *5*. Верхняя часть рис. 60 представляет собой логическую схему «НЕТ», состоящую из схемы «ИЛИ» и схемы «И». Схема «И», входящая как составная часть в схему «НЕТ», используется отдельно, как схема совпадений для импульсов кодов чисел *А* и *Б*.

Для управления сумматором используются три типа импульсов: синхронизирующие импульсы *СИ*, следующие с частотой повторения, равной частоте суммирования; обратные синхронизирующие импульсы *ОСИ* (те же синхронизирующие импульсы, но обратной полярности) и стробирующие положительные импульсы *СТ* длительности в 1 *мксек*, каждый из которых начинается сразу же после окончания синхронизирующего импульса; обратные стробирующие импульсы *ОСТ* (те же стробирующие импульсы, но обратной полярности)

Импульс напряжения $U_{вых}$ на выходе триода $ПТ_1$ посредством обратного синхронизирующего импульса *ОСИ* и линии $ЛЗ_1$ задерживается на 0,5 *мксек.* В схеме несовпадений *3* он задерживается еще на 0,5 *мксек*, вслед-

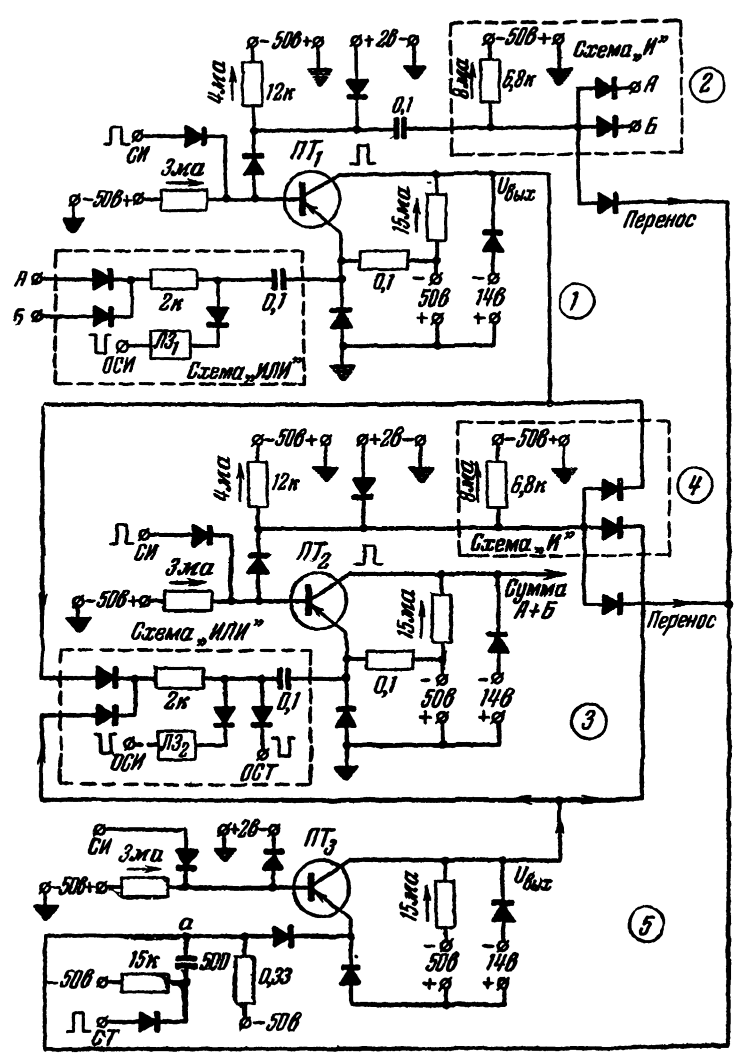


Рис. 60. Последовательный одноразрядный сумматор на точечных триодах.

стью что на выходе триода $ПТ_2$ импульсы запаздывают на 1 *мксек* относительно синхронизирующего импульса Это достигается подачей на эмиттер триода $ПТ_2$ обратного стробирующего импульса *ОСТ*, следующего каждый раз после окончания импульса *СИ* Он запирает $ПТ_2$ еще на 1 *мксек*

Импульс переноса от схемы совпадений *2* или *4* поступает на вход запоминающей ячейки *5*, которая задерживает его до поступления на вход сумматора следующего высшего разряда (т е на время цифрового разряда)

В качестве запоминающей ячеики *5* используется одна ячейка описанного ранее сдвигающего регистра выполнения на точечных триодах Если от схемы совпадении *4* поступит импульс переноса от предыдущего разряда, то конденсатор *С* зарядится, потенциал точки *а* сохранится на уровне —3 *в* и стробирующий импульс пройдет через конденсатор на эмиттер триода $ПТ_3$ В случае же, когда импульса переноса нет, потенциал точки *а* более низок (например, —10 *в*) и стробирующий импульс не пройдет на эмиттер Как видно из приведенной схемы, сумматор содержит всего три точечных триода и 29 диодов

Особенно простые и экономичные сумматоры получаются при применении полупроводниковых триодов с поверхностным барьером Основными элементами такого сумматора являются логические схемы «ИЛИ» и «И» Он состоит из двух одинаковых частей — полусумматоров, производящих согласно правил двоичной системы сложение кодов только двух чисел

Схема полусумматора приведена на рис 61 Она состоит из схемы совпадений «И» на триодах $ПТ_1$ и $ПТ_2$, дающих на выходе $ПТ_1$ код переноса, и двух схем совпадений на триодах $ПТ_2$, $ПТ_3$ и $ПТ_4$, $ПТ_5$, объединенных схемой «ИЛИ» Последние дают на выходе код суммы Работа полусумматора происходит следующим образом С триггерных ячеек, условно показанных на схеме состоящими из двух половин, подается на базу триода $ПТ_2$ прямой код числа *А* и на базы триодов $ПТ_1$ и $ПТ_4$ прямой код числа *Б* Обратный код чисел $\bar{А}$ и $\bar{Б}$ поступает на базы триодов $ПТ_5$ и $ПТ_3$ Прямому коду «1» соответствует напряжение около — 1,5 *в* на базах триодов, а обратному — около нуля (— 0 05 *в*)

Если прямой код чисел A и $Б$ равен «1», то триоды $ПТ_1$ и $ПТ_2$ открыты, через сопротивление R протекает ток и на коллекторе триода $ПТ_2$ возникает положительный импульс переноса, соответствующий коду переноса «1» В случае же, когда код числа A равен «1», а код числа $Б$ — «0» или наоборот, то открыты триоды $ПТ_2$ и $ПТ_3$ или $ПТ_4$ и $ПТ_5$, положительный импульс напряжения, соответствующии коду «1», получается на выходе

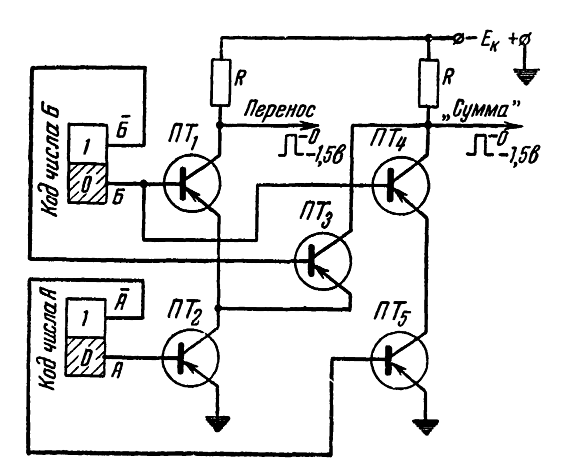


Рис 61 Полусумматор на триодах с поверхностным барьером

«суммы» Когда прямые коды A и $Б$ равны нулю, то все цепи для токов, протекающих через сопротивление R, закрыты и на шине «сумма» и «перенос» имеются отрицательные напряжения в 1,5 *в*, соответствующие коду «0»

Принципиальная схема полусумматора с триггерами для запоминания кода переноса и кода суммы показана на рис 62 Напряжения с шины переноса и суммы полусумматора поступают соответственно на триггер переноса и триггер суммы При этом они передаются так, чтобы низший уровень напряжения (—0,05 *в*) на этих шинах вызывал код «1», а верхний (—1,5 *в*) — код «0» в триггерах, фиксирующих код переноса и суммы

Триоды $ПТ_1$ — $ПТ_5$ составляют полусумматор, а триоды $ПТ_6$, $ПТ_7$ и $ПТ_8$, $ПТ_9$ — триггерные ячейки регистра

кодов чисел *А* и *Б* Триоды $ПТ_{10}$ и $ПТ_{11}$ служат для передачи кода с шин переноса и суммы на соответствующие триггеры. Передача кода производится по сигналу на шине *В*. Триоды $ПТ_{14}$ и $ПТ_{17}$, соединенные с триггерами, фиксирующими код переноса и суммы, служат для гашения триггеров (установления их в положение «0»). Вре-

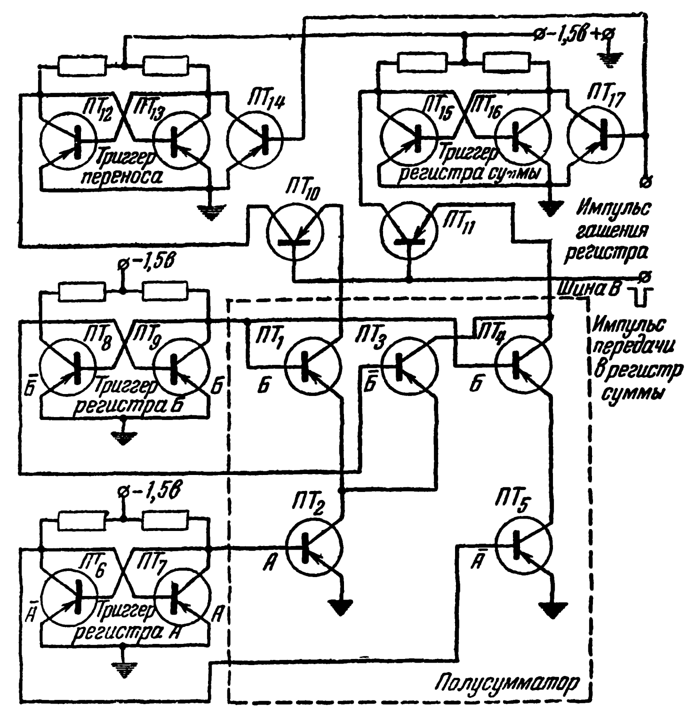


Рис. 62. Полная схема полусумматора.

мя для гашения триггеров составляет 0,25 *мксек*, а время для гашения суммирования и передачи результата сложений — около 2,5 *мксек.*

Макет параллельного сумматора на 20 двоичных разрядов, собранный на полупроводниковых триодах с поверхностным барьером, имел максимальное время сложения 2,75 *мксек*. Время же умножения, деления и извлечения квадратного корня составляло не более 55 *мксек*.

На полупроводниковых триодах с поверхностным барьером можно собрать также сумматор с тремя входами, который непосредственно суммирует три кода: код числа *А*, код числа *Б* и код переноса *П* (рис. 63). Он может быть использован как для последовательного, так и для параллельного сложения кодов чисел.

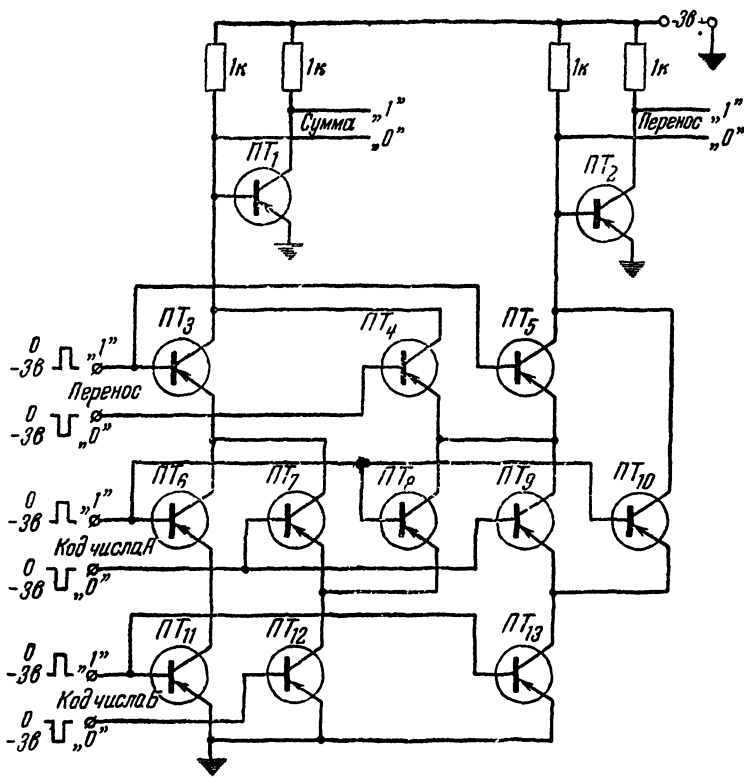


Рис. 63. Сумматор с тремя входами на триодах с поверхностным барьером

Для параллельного сложения кодов чисел, имеющих *n* разрядов, требуется *n* одноразрядных сумматоров. Каждый из входов сумматора имеет две шины, на которые одновременно подаются два импульса разной полярности. Коду «1» соответствует положительный импульс, коду «0» — отрицательный потенциал на шине, равный —3 *в* Если, например, на все три сумматора подан код

«1», то на каждой шине будут иметь место импульсы, показанные на рис. 63 При этом триоды $ПТ_3$, $ПТ_6$, $ПТ_{11}$, $ПТ_5$, $ПТ_8$, $ПТ_{10}$ и $ПТ_{13}$ будут закрыты, а триоды $ПТ_1$, $ПТ_2$, $ПТ_4$, $ПТ_7$, $ПТ_9$ и $ПТ_{12}$ открыты. Напряжение на коллекторе триода $ПТ_1$ будет близким к нулю и соответствовать коду «1». Это же имеет место и для триода $ПТ_2$, где код переноса также есть сумма «1». Таким образом, суммирование для этого случая осуществляется правильно, т. е. $1+1+1=$сумма и перенос «1».

Описанный сумматор был применен в арифметическом блоке вычислительного устройства, оперирующего с 19 разрядными двоичными числами. Скорость сложения и вычитания составляет 2,4 *мксек* на одну операцию и может быть в дальнейшем увеличена до 600 000 сложений в секунду Потребляемая сумматором мощность составляет всего лишь 0,036 *вт*, в то время как аналогичный сумматор на четырех электронных лампах потребляет 21,5 *вт*. Отсюда видна исключительная перспективность применения полупроводниковых триодов вместо ламп

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН НА МАГНИТНЫХ (ФЕРРИТОВЫХ) СЕРДЕЧНИКАХ

22. ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

В последнее время в цифровых вычислительных машинах широкое применение получили ферритовые сердечники Типичной особенностью этого материала является то, что его петля гистерезиса близка к прямоугольной форме.

Ферритовые сердечники, применяемые в элементах счетных машин, представляют собой тороиды с внешним диаметром от 2 до 8 *мм* (рис 64) На сердечнике размещаются три обмотки В обмотку *1* подается так называемый импульс гашения (или сброса) $I_{сбр}$, возвращающий сердечник в первоначальное состояние, под которым понимается намагничивание до отрицательной остаточной индукции (точка *А* на рис. 65) Это состояние соответствует коду «0» и сохраняется сколь угодно долго. В обмотку *2* подаются импульсы другой полярности, намагничивающие сердечник в противоположном направлении

(точка *Б* на рис. 65,*а*). Это состояние соответствует коду «1», который сердечник «запоминает» и после прохождения импульса. Обмотка *3* является выходной

На рис. 65,*а* показана зависимость магнитного потока в сердечнике от тока в его обмотке. Она носит название петли гистерезиса или гистерезисного цикла.

Различают частные циклы, соответствующие определенной амплитуде тока, и предельный цикл, соответствующий амплитудам тока, превышающим определенную

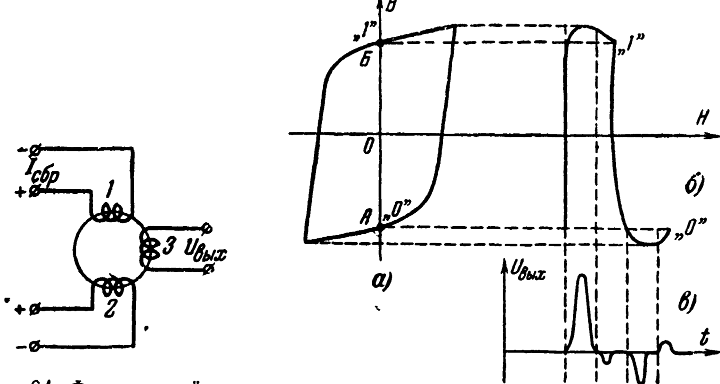


Рис. 64. Ферритовый сердечник с тремя обмотками.

Рис 65. Магнитные характеристики ферритового сердечника

величину. Точки пересечения петли с осью абсцисс определяют коэрцитивную силу феррита, а точки пересечения с осью ординат — остаточную индукцию материала. Коэрцитивная сила определяет ток, необходимый для перемагничивания сердечника, имеющего среднюю длину окружности 1 *см*. Остаточная индукция характеризует изменение потока при перемагничивании из состояния, соответствующего точке *А*, в состояние, соответствующее точке *Б*. Чем меньше коэрцитивная сила, тем меньше энергии надо затратить на перемагничивание феррита. Чем больше остаточная индукция, тем больший сигнал будет при этом получен в выходной обмотке. Очевидно, желательно иметь материалы с минимальной коэрцитивной силой и максимальной остаточной индукцией.

Прямоугольность формы петли гистерезиса обычно характеризуется коэффициентом, равным отношению из-

менения потока при положительной остаточной индукции к изменению потока при отрицательной остаточной индукции.

Импульс тока должен иметь достаточную длительность, чтобы сердечник успел перемагнититься. Для ферритов время перемагничивания составляет около 1—2 *мксек* и определяется постоянной времени данного феррита.

Ферриты характеризуются высоким удельным сопротивлением (порядка 10^7 *ом/см*) и малыми потерями на токи Фуко. Коэрцитивная сила ферритов находится в пределах примерно 0,3—1 *эрс*, а остаточная индукция около 1 000—3 000 *гс*.

При перемагничивании сердечника в выходной обмотке *3* возникает импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна скорости изменения индукции в сердечнике. На рис. 65,*б* и *в* даны кривые изменения во времени индукции и выходного напряжения.

Свойство ферритового сердечника «запоминать» импульс при намагничивании используется для создания запоминающих устройств и для выполнения различных логических операций в машине. Рассмотрим несколько примеров.

На рис. 66,*а* приведена схема ячейки, состоящей из ряда последовательно соединенных ферритовых элементов. В качестве промежуточного звена между сердечниками применяется *RC* контур. Если сердечник *1* находится в намагниченном состоянии, соответствующем коду «1», то сдвигающий импульс, поданный на шину *А*, вызовет в его выходной обмотке положительный импульс. В первый полупериод промежутка времени между сдвигающими (синхронизирующими) импульсами этот импульс через диод $Д_1$ зарядит конденсатор *С*. Во второй полупериод конденсатор *С* разрядится через сопротивление *R* и установит сердечник *2* в положение, соответствующее коду «1». Сопротивление *R* выбирается таким, чтобы ток, проходящий через него, был значительно меньше тока заряда конденсатора в первый полупериод. Но оно не должно быть слишком большим, так как тогда ток разряда конденсатора во втором полупериоде не смог бы перемагнитить сердечник. Величины *R* и *С* определяются частотой синхронизирующих импульсов (которая может достигать 0,5 *Мгц*), а также магнитными харак-

теристиками сердечников и обмоток. (R имеет величину порядка нескольких сот ом, а C — несколько тысяч пикофарад).

Односторонняя проводимость диода $Д_1$ препятствует обратному намагничиванию сердечника *1* от импульса, возникающего при разряде конденсатора на входе сердечника *2*. Гасящий диод $Д_2$ шунтирует входную обмотку следующего сердечника. Он замыкает напряжение проти-

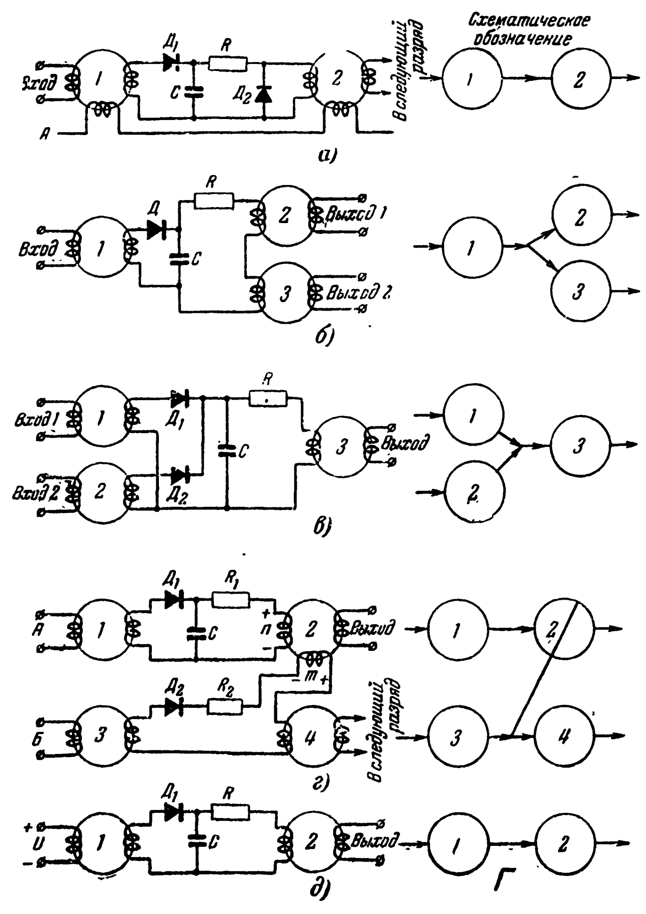


Рис. 66. Запоминающая ячейка на ферритовом сердечнике (*а*), схема разветвления (*б*), схема объединения (*в*), схема запрещения (*г*) и генератор единиц (*д*).

во-э д с, возникающее во втором сердечнике, которое могло бы создать обратный ток в первом сердечнике. Действительно, при переходе второго сердечника из состояния кода «1» в состояние кода «0» в его обмотке индуктируется напряжение, которое через диод $Д_1$ может проходить в первый сердечник.

Мощность выходного сигнала при достаточной величине синхронизирующего импульса гашения превышает мощность входного сигнала. Это позволяет от одного сердечника намагничивать несколько других.

Способность статического запоминания кода числа и усиление мощности сигнала является существенной особенностью этих элементов.

Сдвигающии регистр может быть взят за основу как элемент цифровой машины последовательного действия. С помощью этого элемента может быть образован ряд логических схем Так, например, на (рис. 66,*б*) показана схема разветвления выходного сигнала на два канала. При сбросе сердечника *1* в нулевое состояние сердечники *2* и *3* устанавливаются в состояние кода «1» Так же просто может быть образована логическая схема «ИЛИ» (рис. 66,*в*) Она образуется подключением через разделительные диоды выходных обмоток двух или более триодов ко входу одного сердечника Объединение может быть осуществлено непосредственно на одном сердечнике, но это требует дополнительных обмоток на нем

Схема запрещения или схема «НЕТ» (рис. 66,*г*) позволяет посредством запрещающего импульса прекратить передачу импульсов. Запрещающий импульс подается на дополнительную обмотку *m* в выходном сердечнике *2*. При возбуждении обмотки *m* происходит вычитание магнитных потоков в сердечнике от обмоток *m* и *n* так, что импульс, проходящий через обмотку *n*, не передается дальше Схема запрещения обозначается условно в виде сердечника с чертой посредине, препятствующей прохождению импульса На рис 66,*д* показана схема так называемого «генератора единиц», дающего на выходе стандартные импульсы при каждом импульсе сброса в обмотке гашения (на схеме не показанной).

Комбинация из схем разветвления и запрещения позволяет создать логическую схему «И», т. е схему совпадения (рис 67) Импульс на выходе сердечника *3* появляется только тогда, когда импульсы на входы *1* и *2*

поступают одновременно Если же импульс имеется только на входе *1*, то схема запрещения *3*, управляемая импульсом от схемы запрещения *5*, препятствует прохождению импульса на выход.

С помощью ферритовых средечников лего создать динамический триггер или динамическую запоминающую ячейку (рис. 68). Триггер имеет два входа. Если импульс подать на вход *1*, то схема переходит в состояние, соответствующее коду «1» Это означает, что при каждом

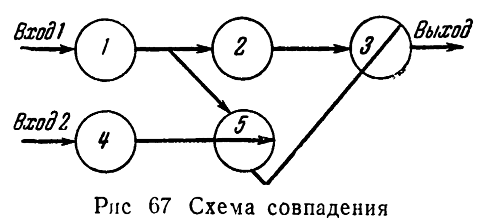


Рис 67 Схема совпадения

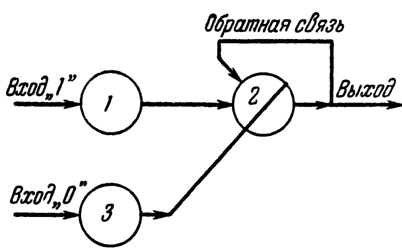


Рис. 68 Динамический триггер на ферритовых сердечниках

синхронизирующем импульсе сброса на выходе получается импульс Если же импульс подать на вход 0, то при каждом синхронизирующем импульсе сброса с выхода сердечника *3* будет поступать импульс запрещения, обрывающий обратную связь Ввиду этого сердечник *2* остается в состоянии, соответствующем коду «0»

Из описанных элементарных схем на ферритовых сердечниках могут быть составлены более сложные схемы сумматоров, многопозиционных переключателей, арифметических устройств и т. д. Преимуществами устройств с ферритовыми сердечниками является надежность, сравнительно небольшая потребляемая мощность (порядка нескольких десятых долей ватта на каждый сердечник) и миниатюрные размеры

К их недостаткам относятся ограниченная частота работы (ниже 0,5 *Мгц*) и необходимость иметь достаточно мощный источник синхронизирующих импульсов высокой частоты. При повышении частоты синхронизирующих импульсов мощность, потребляемая сердечником, резко возрастает и достигает нескольких ватт. В этом отношении схемы с полупроводниковыми триодами и диодами являются наиболее экономичными.

23. ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ И ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

В запоминающей ячейке, схема которой приведена на рис. 69,*а*, для запоминания импульса используется ферритовый сердечник. Плоскостной триод здесь предназначен лишь для усиления мощности. Обмотка *1* (триггерная) служит для переброса сердечника из состояния, соответ-

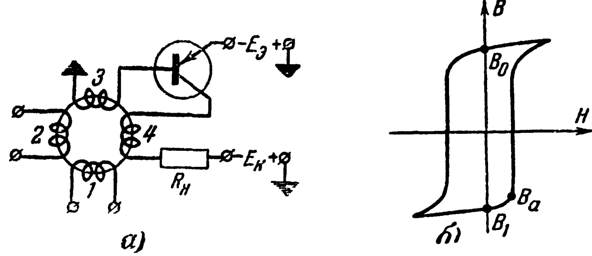


Рис. 69. Запоминающая ячейка на ферритовом сердечнике на полупроводниковом триоде (*а*) и гистерезисная кривая (*б*)

ствующего коду «1», в состояние кода «0». На обмотку *2* (для кода «1») подаются импульсы, устанавливающие сердечник в состояние кода «1». Обмотка *3* включена в цепь эмиттер-база триода, который нормально заперт напряжением $E_э$. Обмотка *4* включена в цепь коллектора последовательно с сопротивлением нагрузки $R_н$.

Намагниченный сердечник, характеризующийся точкой B_1 на гистерезисной кривой (рис. 69,*б*), будем считать находящимся в состоянии кода «1», а характеризующийся точкой B_0 — в состоянии кода «0».

Предположим теперь, что сердечник намагничен и находится в состоянии, соответствующем коду «1». Так как триод закрыт, это состояние будет сохраняться сколь угодно долго Если на обмотку *1* подать слабый пусковой

импульс, то он переместит рабочую точку сердечника из B_1 в B_a. Даже при таком небольшом изменении магнитного состояния сердечника в обмотке *3* будет индуктироваться напряжение. Это напряжение, приложенное «плюсом» к эмиттеру и «минусом» к базе, откроет триод, и в цепи его коллектора появится ток, который в свою очередь сдвинет еще дальше влево рабочую точку сердечника. Последнее еще более увеличит индуктированное напряжение в обмотке *3* и ток в цепи эмиттера и коллектора триода. В результате действия этой положительной обратной связи триод будет полностью открыт, коллекторный ток быстро возрастет и сердечник из намагниченного состояния, соответствующего коду «1», перейдет в состоянии кода «0» (точка B_0 на рис. 69,*б*). Когда сердечник полностью перейдет в новое состояние магнитного насыщения, триод снова закроется. В результате такого быстро протекающего процесса перемагничивания сердечника через нагрузку $R_н$ пройдет импульс тока.

Заметим, что импульс на нагрузочном сопротивлении $R_н$ возникает только в том случае ,если сердечник находился в состоянии кода «1». Если он находится в состоянии кода «0» (точка B_0 на гистерезисной кривой), то пусковой импульс в обмотке *1* сдвинет рабочую точку по кривой намагничивания вправо от B_0. При этом не произойдет почти никакого изменения магнитного состояния сердечника и триод останется запертым.

Для того чтобы сердечник снова установить в положение кода «1», на обмотку *2* нужно подать импульс напряжения. Триод при этом останется запертым, так как к его эмиттеру прикладывается «минус» напряжения, индуктированного в обмотке *3*. Следовательно, для перемагничивания сердечника на обмотку *2* требуется подать импульсы значительно большей мощности, чем на обмотку *1*.

По сравнению с запоминающей ячейкой только на ферритовом сердечнике описанная схема обладает весьма важным преимуществом: здесь требуется пусковой импульс незначительной амплитуды и малой мощности, что позволяет значительно уменьшить мощность источника пусковых импульсов.

Пусковой импульс в схеме рис. 69,*а* можно было бы подавать непосредственно на эмиттер триода. Однако

применение для запуска специальной обмотки позволяет соединить последовательно эти обмотки и запускать сотни ячеек с помощью одного импульса от одного генератора. Отметим, что в приведенной схеме через плоскостной триод не протекает ток, когда сердечник находится в положении кода «0» и когда он переходит в положение кода «1».

Применяя рассмотренную выше запоминающую ячейку, можно создать самые разнообразные логические схемы.

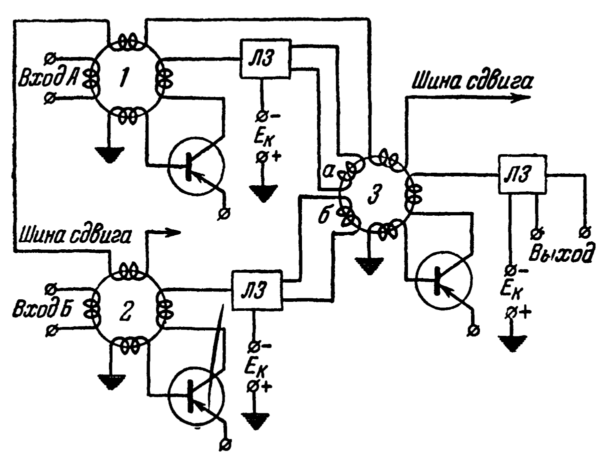


Рис. 70. Схема запрещения.

В качестве примера на рис. 70 приведена схема запрещения. Она содержит две запоминающих ячейки *1* и *2*, выходы которых через линии задержки *ЛЗ* присоединены к входным обмоткам *а* и *б* запоминающей ячейки *3*. На вход *А* первой ячейки подается входной импульс, а на вход *Б* второй — запрещающий. Намагничивание сердечника *3*, соответствующее коду «1», будет происходить лишь в отсутствие запрещающего импульса и только тогда, когда сердечник *1* установлен в положение кода «1». При наличии же запрещающего импульса намагничивающее действие входного импульса, протекающего через обмотку *а*, будет скомпенсировано действием запрещающего импульса, проходящего через обмотку *б*. Вследствие этого намагничивание сердечника, соответствующее коду «1», не будет иметь места. Для повышения надежности работы схемы число витков обмотки *б* делают несколько

бо́льшими числа витков обмотки *a*. Это гарантирует преобладание намагничивания запрещающей обмотки, импульс же тока в обмотке, в случае его преобладания устанавливает сердечник *3* в положение кода «0».

Таким образом, код «1», установленный в сердечнике *1*, передается на выход после прохождения сдвигающего импульса, если отсутствует запрещающий импульс. При наличии только одного запрещающего импульса он также дает код «0» на выходе ячейки *3*.

24. СДВИГАЮЩИЕ РЕГИСТРЫ

На рис. 66,*а* была показана схема ячейки сдвигающего регистра, собранного на ферритовых сердечниках. Недостатком его является потребление сравнительно большой мощности от источника импульсов, которая необходима для питания шины сброса. В регистре сдвига, содержащего ферриты и плоскостные триоды (рис. 71), этот

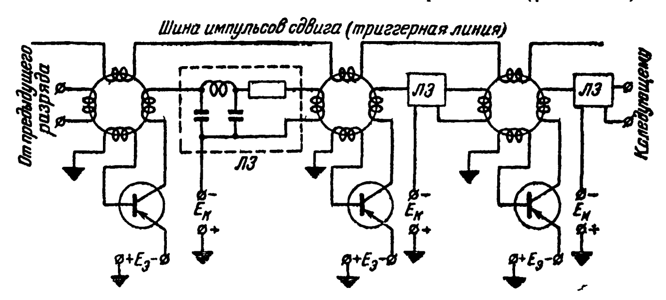


Рис. 71. Сдвигающий регистр.

недостаток устранен. Каждый из сердечников такого регистра запоминает код одного разряда числа.

Плоскостными триодами осуществляется усиление мощности импульса на выходе каждой ячейки. Поэтому от сдвигающего импульса требуется лишь очень малая мощность, обеспечивающая только начало процесса перемагничивания сердечника.

Сдвигающий импульс подается одновременно на соответствующие обмотки всех сердечников. После его прохождения все ячейки, находившиеся в состоянии кода «1», изменяют свое состояние и устанавливаются в положение кода «0». При этом на выходной обмотке возникает импульс, который после прохождения линии задержки

ЛЗ устанавливает следующую ячейку в положение кода «1». Таким образом происходит сдвиг кода числа на один разряд после каждого импульса в шине сдвига.

Кроме указанного ранее преимущества, этот регистр обладает еще целым рядом достоинств. Он не требует, чтобы импульсы сдвига имели определенную амплитуду и длительность, как это нужно для регистра сдвига без

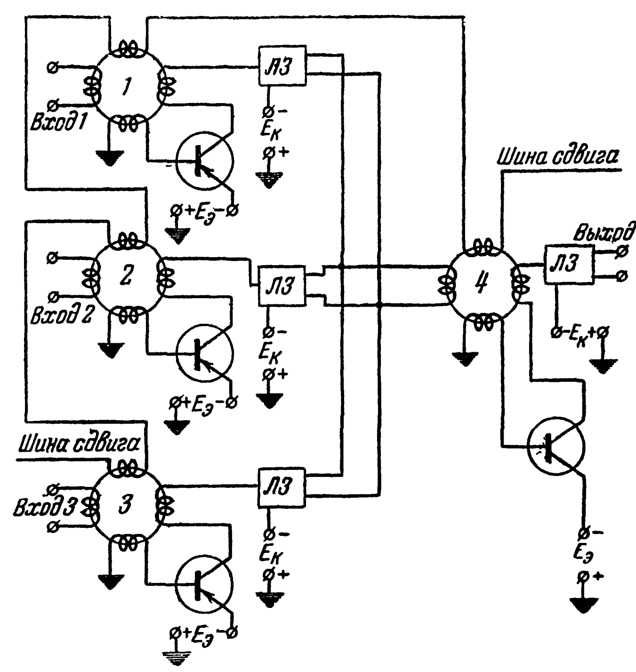


Рис. 72. Схема параллельного соединения трех ячеек (схема „ИЛИ").

триодов. В каждой ячейке регистра автоматически создается свой собственный импульс, ширина и длительность которого приспосабливаются к условиям намагничивания данного сердечника. Далее, в регистре сдвига на триодах сердечники, находящиеся в состоянии кода «0» не дают никакого импульса в выходной обмотке, в то время как в регистре рис. 66,*а* мощные импульсы сдвига вызывают ложные импульсы в обмотках сердечников, находящихся в положении кода «0». Наконец, в регистре сдвига с полупроводниковыми триодами меж-

ду отдельными ячейками нет промежуточных диодов и контура, потребляющих мощность и снижающих их к. п. д. Промежуточная электромагнитная линия задержки практически не потребляет энергии, что обеспечивает высокий к. п. д. схемы.

Все это дает возможность присоединять к выходу одного сердечника регистра с полупроводниковыми триодами входные обмотки более 10 других сердечников. При последовательном соединении ячеек сдвигающего регистра возможно включение 100 и более сердечников.

На рис. 72 показана схема соединения трех ячеек, выходы которых поданы на общую входную обмотку ячейки *4*. Присоединены ли все ячейки к одной общей обмотке сердечника *4* или к нескольким отдельным, существенного значения не имеет, так как импульс запоминается вследствие намагничивания сердечника *4*. Сопротивление линий задержек *ЛЗ* должно быть достаточно большим. Иначе импульс во входной обмотке сердечника *4* при подаче сдвигающего импульса будет шунтироваться. Линии *ЛЗ* должны задерживать импульсы приблизительно на одно и то же время, чтобы сигналы от выходных обмоток сердечников *1—3* приходили одновременно на вход ячейки *4*.

25. ДИНАМИЧЕСКИЙ ТРИГГЕР НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ И ПЛОСКОСТНЫХ ТРИОДАХ

Динамический триггер на ферритовых сердечниках и плоскостных триодах (рис. 73) состоит из одного разряда сдвигающего регистра. Выход запоминающей ячейки *1* связан с ее входом через линию задержки *ЛЗ*, т. е. в ячейке имеет место обратная связь. Обмотка *а* служит для намагничивания сердечника до уровня, соответствующего коду «1», а обмотка *б* для намагничивания до уровня, соответствующего коду «0».

Если сердечник *1* находится в положении кода «1», то при поступлении сдвигающих импульсов на обмотку *б* на выходной обмотке *г* импульсы отсутствуют. Если же на обмотку *а* подать импульс, устанавливающий сердечник в положение кода «1», то при прохождении через обмотку *в* сдвигающего импульса, на выходе ячейки каждый раз будут появляться импульсы. Эти импульсы через линию задержки *ЛЗ* и цепь обратной связи снова подаются на обмотку *а*. Каждый раз после сброса сер-

дечника *1* сдвигающим импульсом в положение «0» импульсы из линии задержки *ЛЗ* устанавливают его в положение кода «1». Благодаря этому на выходе ячейки имеет место последовательность импульсов, следующих с той же частотой, что и сдвигающие импульсы.

Циркуляция импульсов на выходе динамического триггера прекращается подачей на вход ячейки *2* запрещающего импульса, устанавливающего эту ячейку в положение кода «1». При прохождении сдвигающего импульса

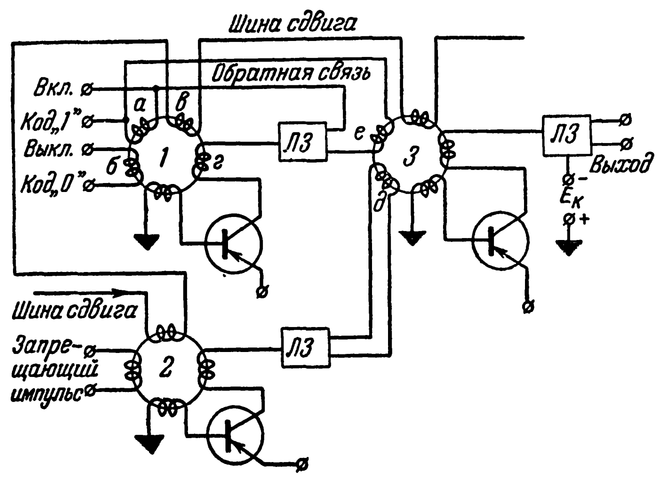


Рис. 73. Динамический триггер.

на выходе ячейки *2* в этом случае появляются импульсы, которые через линию задержки *ЛЗ* проходят в обмотку запрещения ячейки *3*. Импульс тока в запрещающей обмотке *д* направлен обратно импульсу тока в обмотке *е* и полностью компенсирует его. Поэтому импульс напряжения на выходе ячейки *1* не передается обратно на ее вход и циркуляция импульсов в этой ячейке прекращается. Таким образом, ячейки *2* и *3* вместе образуют схему запрещения для импульсов в цепи обратной связи ячейки *1*.

После подачи запрещающего импульса ячейка *1* остается в положении кода «0» до тех пор, пока в обмотку *а* снова не будет подан импульс, соответствующий коду «1». Обмотка *б*, устанавливающая ячейку *1* в положение кода «0», необходима только при установке положения триггера. Она может быть соединена параллельно с за-

прещающей обмоткой, и код «0» из внешней цепи может подаваться одновременно на обе обмотки.

Описанный динамический триггер устойчиво работает при изменении питающего напряжения и параметров деталей на ±20%. Предельная частота повторения импульсов определяется прежде всего предельной частотой триода и составляет 100—200 *кгц*. Она может быть повышена путем применения триодов с более высокой рабочей частотой.

Требований идентичности параметров и характеристики для полупроводниковых триодов, применяемых в этой схеме, можно не предъявлять. Достаточно лишь, чтобы они обладали некоторым минимальным средним усилением при заданном пиковом значении тока. Начальный ток коллектора $I_{к0}$ может, например, изменяться в 100 раз и это не нарушит работу ячейки. Последнее справедливо потому, что намагничивающее поле, создаваемое токами коллектора и базы, меньше, чем коэрцитивная сила магнитного материала сердечника.

Динамический триггер с германиевыми триодами работает устойчиво при температуре до +70° С.

Требования к переходной характеристике триода повышаются с повышением частоты повторения импульсов. Потребляемая мощность и амплитуда импульса тока на выходе триода должны быть выбраны такими, чтобы не превышалась допустимая мощность рассеяния на его коллекторе. Установлено, что плоскостной триод не подвергается каким-либо разрушениям даже при очень больших пиковых значениях токов, если не превышается допустимая мощность рассеяния.

Динамический триггер с ферритовым сердечником и плоскостным триодом обладает высокой надежностью работы, которая зависит только от продолжительности работы триода.

26. ДВОИЧНЫЙ СЧЕТЧИК НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ И ПЛОСКОСТНЫХ ТРИОДАХ

Схема двоичного счетчика приведена на рис. 74. Выходная обмотка с сердечником *1* через коллекторную цепь триода $ПТ_1$ соединена со сдвигающей обмоткой следующего сердечника. Кроме этого, через линию задержки *ЛЗ* она соединена последовательно с входной обмоткой

$д_1$ второго сердечника и с запрещающей обмоткой *д* на собственном сердечнике. Импульс тока в запрещающей обмотке препятствует намагничиванию сердечника импульсом во входной обмотке и компенсирует его влияние.

Рассмотрим работу счетчика. Положим, что все сердечники находятся в состоянии кода «0» и что на вход счетчика подан первый импульс. В этом случае импульсы, поступающие сначала на обмотку *а* первого сердечника, не окажут никакого влияния; они могут установить сердечник только в состояние кода «0», в котором он уже

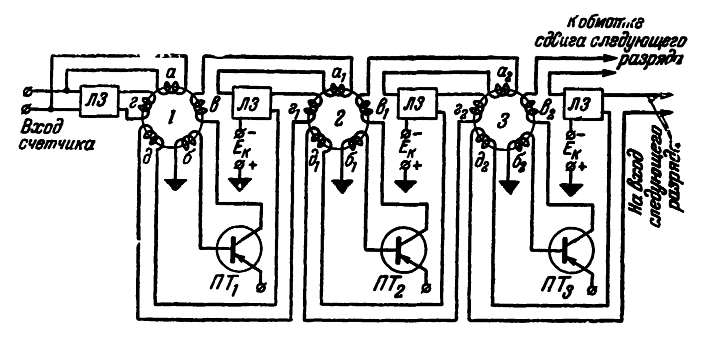


Рис. 74. Двоичный счетчик.

находится. В выходной обмотке импульс (при первом импульсе на входе), не возникает, так как плоскостной триод заперт.

Через некоторое время входной импульс, пройдя линию задержки *ЛЗ*, поступит во входную обмотку сердечника *1* и установит его в положение кода «1», в котором он будет находиться до прихода следующего импульса Второй импульс на входе счетчика поступит прежде всего на сдвигающую обмотку *а* и установит сердечник в положение кода «0». После этого задержанный линией *ЛЗ* входной импульс будет подан на обмотку *г*. Одновременно с ним в запрещающую обмотку *д* пройдет импульс от линий задержки *ЛЗ* (с выхода первого сердечника). В результате второй импульс не сможет перемагнитить первый сердечник и он останется в положении кода «0». Однако второй сердечник будет установлен в положение кода «1» импульсом с выхода первого сердечника, кото-

рый возникает при перебросе сердечника *1* из положения кода «1» в положение кода «0».

Таким образом, после второго импульса на входе сердечник *1* окажется в положении кода «0», а сердечник *2* — в положении кода *1*. Третий импульс установит первый сердечник в положение кода «1» Второй же сердечник останется в том же положении (кода «1»), так как триод $ПТ_1$ заперт. Четвертый импульс перебросит сердечник *1* из положения кода «1» в положение кода «0». В выходной же обмотке первого сердечника возникнет импульс тока от триода $ПТ_1$ Этот импульс после прохождения линии задержки *ЛЗ* и сдвигающей обмотки a_1 установит второй сердечник в положение кода «0» из положения кода «1». Возникающий при этом импульс в выходной обмотке сердечника *2* установит в положение кода «1» сердечник *3* Сердечники *1* и *2* будут находиться в положении кода «0», так как импульс в запрещающей обмотке *д* сердечника *1* скомпенсирует импульс в его входной обмотке.

Таким образом положения, в которых находятся сердечники *1*, *2*, *3* и т. д соответствуют двоичному коду числа импульсов, пришедших на вход счетчика. Каждый из сердечников подобно триггерной ячейке запоминает один из двух импульсов, поступивших на его вход, и возвращается при каждом втором импульсе в исходное положение.

Так как плоскостные триоды усиливают выходной сигнал каждого сердечника, число последовательно соединенных разрядов такого счетчика может быть большим. Частота повторения входных импульсов может достигать нескольких сот килогерц и определяется в основном скоростью работы плоскостных триодов.

27. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СУММАТОР

Сумматор (рис. 75) состоит из запоминающих ячеек логических схем запрещения и динамического триггера. Как действует сумматор, рассмотрим на примере сложения чисел +6 и +13.

В двоичной системе	[0] 0 0 1 1 0 (*А*)
	[0] 0 1 1 0 1 (*Б*)
Сумма	[0] 1 0 0 1 1

При суммировании код каждого числа входит в сумматор в виде временной последовательности импульсов или отсутствия их (строки *2* и *3* на рис. 76) Поступающие импульсы данного разряда запоминаются сердечниками *1* и *11* Поступающий вслед за этим синхронизирующий импульс сброса передает коды данного разряда обоих чисел на сердечники *6* и *12*. В силу перекресгного запрещения эта передача происходит только тогда, когда коды данного разряда неодинаковы В этом случае один из сердечников, *6* или *12*, установится в состояние, соот-

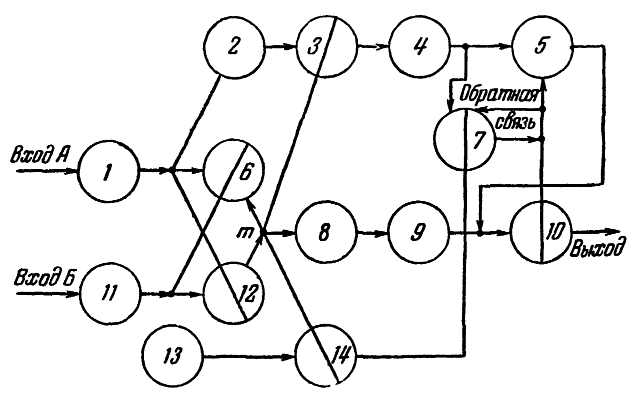


Рис 75. Последовательный одноразрядный сумматор

ветствующее коду «1», и следующий синхронизирующий импульс сбросит его в положение кода «0» При этом он выдаст в точку *m* импульс Последовательность импульсов в точке *m* (код суммы) показана в строке *4* (рис 76) В строке *5* представлен код числа *А*, прошедший через сердечник *2* и поэтому смещенный во времени примерно на половину периода Импульсы в точке *m* запрещают прохождение импульсов через сердечник *3*. Поэтому на выходе сердечника *3* для данного примера будет одним импульсом меньше, чем на его входе (импульс второго разряда числа *А* запрещен).

В строке *7* временной диаграммы показана последовательность импульсов переноса на выходе сердечника *4*, который устанавливает запоминающий переносы триггер *7* в состояние кода «1» Генератор единиц *13* дает импульсы, возвращающие триггер в состояние кода «0» Он управляется импульсами в точке *m* Последовательность

импульсов от генератора единиц показана в строке *8* Импульс переноса от триггера *7*, задержанный сердечником *5*, поступает на вход сердечника *10*. Импульс пере-

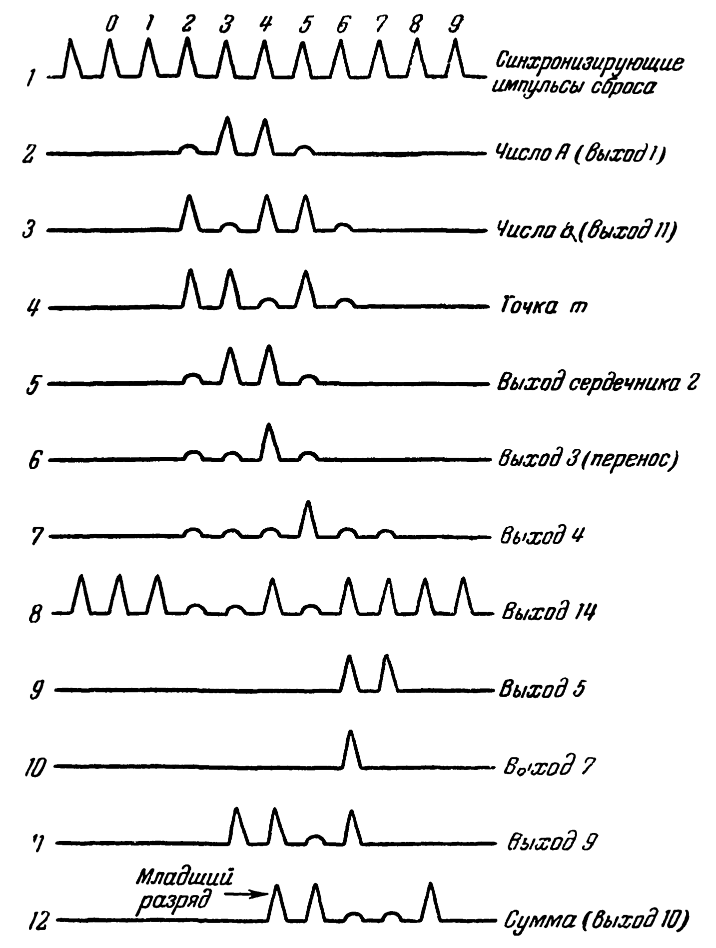


Рис. 76 Диаграмма временной последовательности импульсов в сумматоре.

носа запрещает прохождение кода импульса суммы в соответствии с логикой суммирования $(1+1=0)$

Окончательный результат суммирования показан в строке *12* диаграммы. Из временной диаграммы видно,

что результат суммирования первого разряда получается через четыре периода синхронизирующих импульсов, после входа этого разряда в сумматор Таким образом, сложение двух n-разрядных чисел потребует $n+4$ периода.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

28. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Запоминающие устройства в цифровой машине предназначаются для хранения кодов чисел и команд При решении арифметической задачи человек записывает на бумаге первоначальные данные цифры для переноса в следующие разряды при сложении, вычитании, умножении и делении, промежуточные результаты вычислений (например, частные произведения, остаток при делении); окончательные итоги Эти же операции происходят и в вычислительных машинах, имеющих внутренние и внешние запоминающие устройства

Внутренние или оперативные запоминающие устройства необходимы для запоминания кодов чисел и команд в процессе решения задачи Они должны быть весьма быстродействующими Это необходимо для того, чтобы в арифметическом устройстве производить вычисления с большои скоростью Внешние запоминающие устройства служат для запоминания первоначальных данных и окончательных и промежуточных результатов вычислений, которые используются в машине по мере надобности и в определенные моменты, предусмотренные программой вычисления Они могут работать с меньшей скоростью, чем внутренние, но зато их емкость должна быть значительно большей

Емкость запоминающего устройства, т. е число кодов чисел и команд, которое может храниться в нем, является одним из важнейших параметров машины. Этот параметр определяет сложность и количество одновременно решаемых задач Другим важным параметром, характеризующим быстроту действия машины, является время «выборки» чисел из памяти Чем меньше времени требуется, чтобы извлечь нужное число и направить его в арифметическое устройство, тем больше скорость вычислений

Аппаратура оперативных запоминающих устройств занимает обычно от $1/5$ до $1/3$ объема всей машины. Поэтому прогресс их развития определяет объем, стоимость и экономичность в эксплуатации машины, а вместе с тем и надежность ее работы, ибо надежность обычно обратно пропорциональна объему оборудования (числу ламп, паек, деталей и т. д.). В связи с тем, что основные параметры цифровой вычислительной машины определяются данными ее оперативного запоминающего устройства, становится понятным то внимание, которое уделяется развитию техники запоминающих устройств. В настоящее время разработано такое большое число типов запоминающих устройств, что даже краткий обзор их потребовал бы весьма много места. Поэтому ограничимся рассмотрением только нескольких основных типов, нашедших широкое применение в существующих вычислительных машинах.

29. ПЕРФОЛЕНТЫ, ПЕРФОКАРТЫ И МАГНИТНЫЕ БАРАБАНЫ

Как уже было сказано, для ввода информаций в машину и вывода из нее результатов вычислений имеются внешние запоминающие устройства. Коды чисел и команды записываются в них на перфорированных карточках, бумажных, магнитных и фотографических лентах, магнитных барабанах и т. д.

Перфорированная лента представляет собой плотную бумажную ленту, на которой импульс (код «1») фиксируется пробивкой круглого или прямоугольного отверстия. Коды чисел записываются на ленте в виде нескольких параллельных колонок отверстий. При этом каждая из колонок соответствует определенному разряду двоичного числа.

На рис. 77 показаны отверстия на ленте, соответствующие коду числа 13. Коды считываются с ленты параллельно. При движении ленты контактные щетки, скользящие по ее поверхности, попадают в отверстия и соединяются с металлической поверхностью, по которой лента скользит. Металлическая поверхность соединена с источником тока, вследствие чего через щетку проходит импульс, запоминаемый триггерной ячейкой счетчика. Особенно широкое применение в машинах получили стандартные перфокарты из плотной бумаги или картона, на которых в определенных пронумерованных местах проби

ваются отверстия, соответствующие кодам чисел или букв вам алфавита, или каким-либо другим признакам Наличие пробитого отверстия в каком либо месте означает код «1», а отсутствие его код «0»

Отверстия на карте располагаются в 80-ти вертикальных колонках, в каждой из которых имеется 10 позиций с цифрами от 0 до 9 Кроме этого, в каждой колонке имеются две позиции для перфорации дополнительных данных

Пробивка отверстий на перфокартах производится с помощью специального устройства — перфоратора

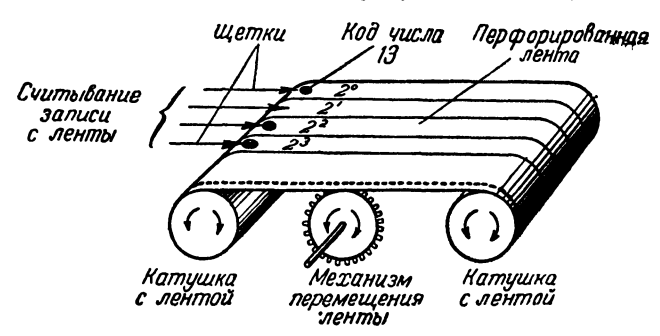


Рис. 77 Перфорированная лента

Считывание закодированных на перфокарте данных производится с помощью контактных щеток, замыкающих цепь тока в том месте, где пробито отверстие

Имеются специальные пишущие машинки, которые производят пробивку отверстий на перфокартах и перфолентах, а также считывают закодированную на них запись и печатают ее в виде цифр или букв на бумаге Преимуществом перфокарт по сравнению с перфолентами является возможность удобной перестановки карт, что позволяет изменять порядок следования информации в машину (например, программ) Перфокарты и перфоленты чаще всего используются как внешняя постоянная память в машине для ввода программ решаемых задач, табличных данных и т д

В цифровых машинах для учета, бухгалтерии и статистики перфокарта может служить, например, лицевым счетом клиента, учетной карточкой определенного вида товара изделия и т д Наибольшая скорость записи на

перфоленте — около 10 отверстий в секунду, а скорость контактного считывания — до 100 чисел в секунду, что соответствует максимальной скорости движения ленты 300 *см/сек* Эта скорость может быть увеличена до 3 *м/сек,* если применить фотоэлектрический способ считывания, например с помощью миниатюрных фотодиодов

Другим способом записи импульсов или кодов чисел является запись на магнитной ленте или на магнитном

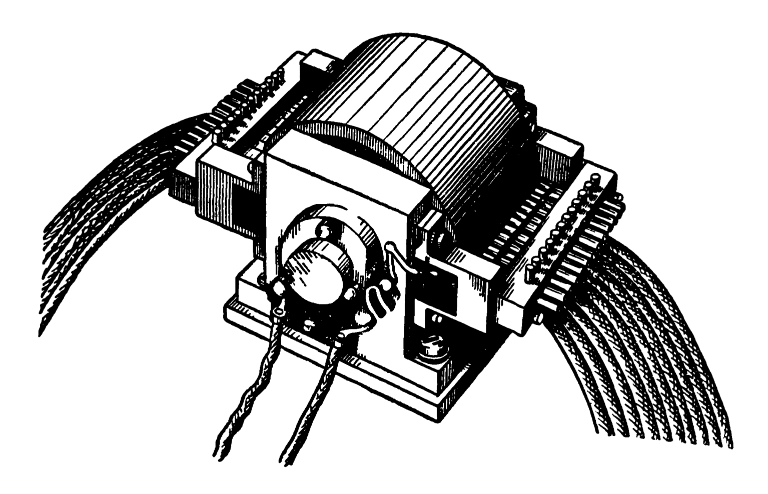


Рис. 78. Магнитный барабан

барабане (рис 78) Здесь плотность записи достигает трех-четырех импульсов на 1 *мм* и больше, а скорость считывания может достигать 100 000 импульсов в секунду

Рассмотрим принцип записи и считывания на магнитном барабане, имеющем скорость вращения 3 000—6 000 *об/мин* и более (рис 79)

Запись производится намагничиванием ферромагнитного покрытия, нанесенного на поверхность барабана *1* Между записывающей головкой *2*, представляющей собой разомкнутый пермаллоевый сердечник с небольшой обмоткой (для уменьшения индуктивности) и поверхностью магнитного барабана имеется зазор в 0,03—0,05 *мм* При пропускании через обмотку импульса тока

в зазоре *а* сердечника возникает поле, намагничивающее пленку. На каждом сантиметре длины окружности барабана может быть записано до 40 импульсов длительностью в 5—10 *мксек*. Записанные импульсы воспроизводятся с помощью считывающей головки *3*. В обмотке *4* этой головки индуктируется импульс напряжения, когда мимо ее зазора проходит намагниченный участок материала.

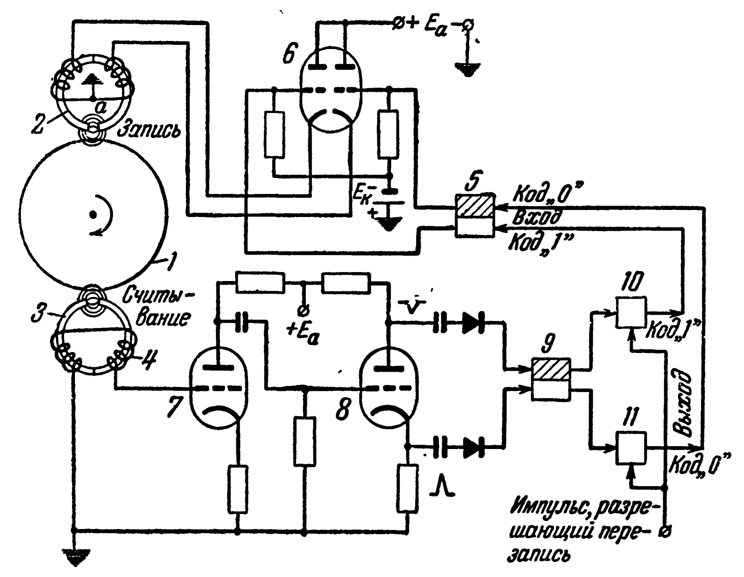


Рис. 79. Схема записи и считывания на магнитном барабане.

Имеется несколько способов записи кодов чисел на магнитном барабане. Одним из способов является запись по двум уровням. Поверхность магнитного барабана вначале намагничивается током одного направления, что соответствует коду «0». При записи кода «1» намагничивание производится током другого направления. Для этого записывающая головка имеет две обмотки с заземленной средней точкой. В зависимости от положения триггерной ячейки *5* (кода «0» или «1») катодный повторитель *6* пропускает в одну из обмоток головки ток, намагничивающий ферромагнитную пленку в том или другом направлении.

Индуктируемая в считывающей головке э. д. с. в зависимости от величины зазора и параметров головки составляет 0,05—0,1 *в*. Она усиливается лампой *7*, ограничивается по нижнему уровню и подается в фазоинвертор *8*. На выходе фазоинвертора получается два импульса напряжения, противоположные по фазе. В зависимости от полярности индуктируемой э. д. с. триггер *9* устанавливается в положение, соответствующее коду «0» или «1». Триггер *9* управляет вентилями *10* и *11*, через которые проходят (в выходную цепь) синхронизирующие импульсы, записанные на равном расстоянии друг от друга на особой дорожке магнитного барабана. Они как бы делят поверхность магнитного барабана на ряд равных ячеек и являются сигналом, при котором происходит считывание и запись импульсов. При записи новых данных на барабане необязательно стирать старые данные, так как, если записываемый импульс имеет достаточно большую величину, он намагничивает материал в том и другом направлении независимо от того, что было записано ранее.

Код чисел, записанных на поверхности магнитного барабана, можно перезаписывать, если соединить считывающую головку с записывающей, как показано на рис. 79. При вращении магнитного барабана записанный код числа может повторяться с частотой, зависящей от расстояния между считывающей и записывающей головками на поверхности барабана и от скорости вращения барабана. Такая запись называется динамической записью кода числа.

В качестве усилителя для записи и считывания применяются усилители на плоскостных полупроводниковых триодах. Усилитель записи (рис. 80) состоит из триггерной ячейки на триодах $ПТ_1$ и $ПТ_2$ с проводимостью типа *n-p-n*. Код «0» или «1» подается на один из входов триггера, который устанавливается в соответствующее положение. Напряжение, снимаемое с коллекторов триодов $ПТ_1$ или $ПТ_2$, усиливается двухтактным усилителем на триодах $ПТ_3$, $ПТ_4$, $ПТ_5$ и $ПТ_6$.

Полярность напряжения на выходе усилителя между точками *в* и *г* меняется в зависимости от положения триггерной ячейки. Это вызывает ток того или другого направления через обмотку *L* записывающей головки магнитного барабана. Сопротивление *R*, включенное по-

следовательно с обмоткой головки, служит для ограничения тока записи. Усилитель работает весьма стабильно и мало чувствительна к изменению параметров его деталей.

Рассмотренный способ магнитной записи по двум уровням и без интервалов между цифрами имеет тот недостаток, что требует применения усилителя постоянного тока.

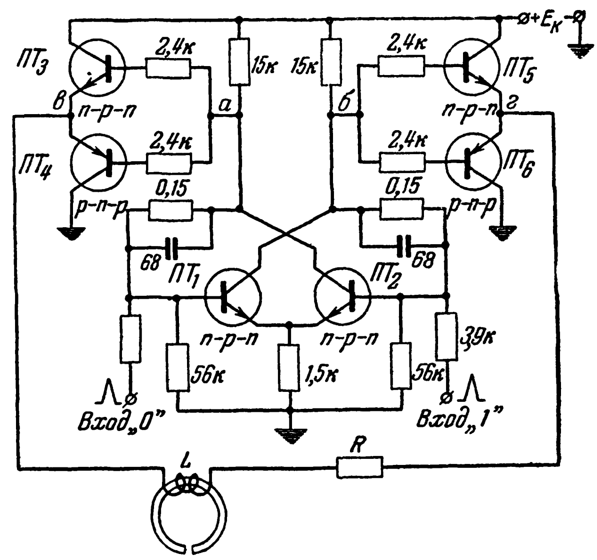


Рис. 80. *Усилитель записи на плоскостных полупроводниковых триодах.*

Применяются способы магнитной записи, при которых коду «1» соответствует импульс тока в записывающей головке, а коду «0» — отсутствие импульса. При записи кода числа, состоящего из ряда единиц, в головку записи подается столько импульсов, сколько имеется единиц в коде данного числа. Импульсная запись может быть осуществлена обычными усилителями переменного тока, что является его достоинством. Однако магнитная запись без промежутков между цифрами позволяет получить вдвое более высокую частоту записи и считывания, чем при записи кодов в виде отдельных импульсов с промежутками между ними.

Недостатком магнитной записи является зависимость амплитуды импульса в считывающей головке от скорости перемещения поверхности магнитного барабана или ленты. Если скорость мала, то считывание записи затруднительно и необходимо применять специальные считывающие головки, воспроизводящие импульс, модулируя его переменным током.

Преимуществом магнитной записи является большая плотность записи, высокая скорость и долговременное запоминание кодов чисел. Ввиду этого магнитная запись на барабане широко применяется в цифровых машинах как в качестве промежуточного запоминающего устройства, так и в качестве оперативной памяти в специализированных машинах с небольшой скоростью вычислений. Коды чисел обычно записываются параллельно и каждому разряду кода числа соответствует отдельная дорожка. Имеются также машины с последовательной записью кодов чисел на одной и той же дорожке

30. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Потребность в экономичном быстродействующем оперативном запоминающем устройстве привела к использованию для запоминания кодов чисел ультразвуковых линий задержки.



Рис. 81. Ультразвуковая линия.

Ультразвуковая линия задержки состоит из твердой или жидкой среды в виде трубки или линии с двумя кварцевыми пьезопреобразователями на концах (рис. 81). Один из них, *1*, преобразует электрические колебания в звуковые. Импульс электрического напряжения, поступая на пластины конденсатора, между которыми зажата кварцевая пластина, заставляет его сжиматься и расширяться пропорционально приложенному напряжению. Эти механические колебания передаются в линию и распространяются в ней со скоростью звука, определяемой плотностью и упругими свойствами среды.

На выходе линии колебания с помощью второй пластины кварца 2 преобразуются обратно в колебания электрического напряжения.

Скорость распространения звука в различных материалах, которые применяются для линий задержки, приведена в табл 7.

Таблица 7

Скорость распространения ультразвука в твердых и жидких телах

Вещество	Скорость распространения звука 10^{-5} *см/сек*
Магний	2,33
Ртуть	1,46
Кварц	5,75
Вода	1,43
Спирт	1,44

Эта таблица показывает, что при относительно небольшой длине линии можно получить временную задержку в сотни и тысячи микросекунд.

Чтобы передать через линию задержки импульс длительностью порядка 0,5 *мксек* (частота повторения 1 *Мгц*), обычно используется принцип модуляции. Стандартный импульс машины (рис 82,*а*) перед подачей на линию преобразуется в модулированный импульс (рис. 82,*б*), причем несущая частота обычно выбирается в десять раз выше частоты следования импульсов (в нашем случае 10 *Мгц*). Далее, модулируемая импульсом несущая частота подается на пластины кварца. На выходе линии после усиления импульс детектируется и восстанавливается по форме и фазе.

Частоты следования стандартных импульсов 1 *Мгц* и несущей 10 *Мгц* не являются предельными. Так, для линии из плавленого кварца частота следования может достигать нескольких мегагерц Однако практически повышение ее сверх 1 *Мгц* встречает ряд серьезных технических трудностей.

Восстановленный по форме и фазе импульс на выходе линии можно вновь подавать обратно на возбудитель кварца через цепь обратной связи В этом случае импульс может циркулировать в линии неограниченное время после того, как он в нее был введен извне Это значит, что он запоминается в линии задержки сколь угодно долгое время, если выход линии включен на ее вход.

Введенный в линию импульс будет циркулировать в ней, появляясь на выходе через определенные проме-

жутки времени, равные времени задержки Этот процесс называется рециркуляцией.

Число импульсов, которое может одновременно, следуя друг за другом, циркулировать в линии, т. е. ее емкость, зависит от физической длины линии, частоты следования стандартных импульсов и скорости распространения звука в данной среде. Для ртути, например, при частоте следования в 1 *Мгц* емкость линии длиной в 1 *м* равна 685 импульсам.

Импульсы кода числа, циркулирующие в линии, могут быть выбраны из нее и посланы в другие устройства

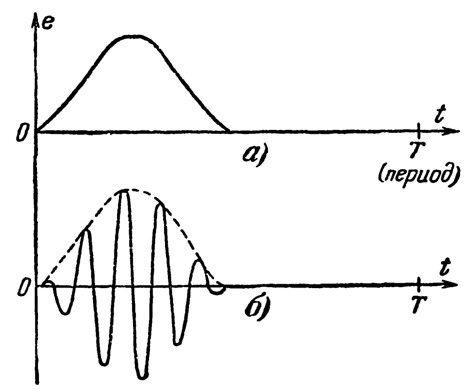


Рис. 82 Стандартный импульс машины (*а*) и импульс модулированных колебаний (*б*).

машины не в любой момент, а только тогда, когда они появляются на выходе линии Вследствие этого, если использовать такую линию задержки в качестве оперативной памяти, то при выборе из нее кода числа приходится некоторое время ожидать. Это время ожидания зависит от параметров линии и от момента обращения к запоминающему устройству. Так, при частоте следования 1 *Мгц* и времени задержки 360 *мксек* (8 кодов по 45 разрядов в каждом) на каждое обращение к запоминающему устройству затрачивается в среднем 180 *мксек*. Относительно большое время ожидания является существенным недостатком данного типа запоминающего устройства. Для универсальных машин время ожидания может быть уменьшено только за счет уменьшения емкости линии или повышения частоты следования.

В современных вычислительных машинах с ультразвуковыми линиями задержки основная частота обычно составляет 1 *Мгц,* несущая частота 10 *Мгц,* а емкость одной линии 360 — 1 024 кодов. Число линий в оперативном запоминающем устройстве составляет 16—64 линии

Скорость распространения ультразвука в линии зависит от ее температуры, что приводит к необходимости создания специального температурного контроля. Устройство контроля представляет собой следящую систему, в которой частота генератора следит за временем за-

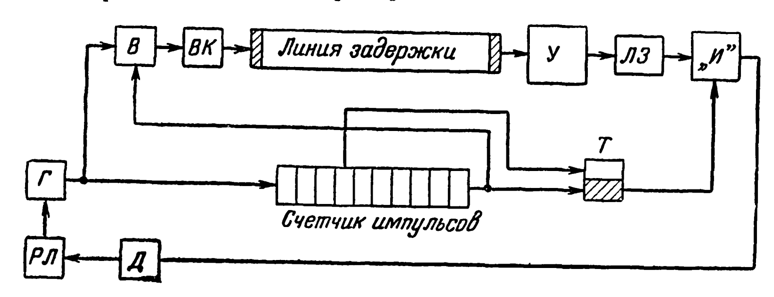


Рис. 83. Блок-схема следящей системы температурного контроля

держки в специальной контрольной ультразвуковой линии (или в той же линии с выделенным в ней местом для записи импульса контроля).

На рис. 83 показана блок-схема следящей системы температурного контроля. Частота генератора *Г* стандартных импульсов делится в *N* раз (где *N* — емкость линии в виде числа кодов, хранящихся в ней) с помощью триггерного счетчика. Выходной импульс счетчика поступает на возбудитель кварца *ВК* через схему совпадения *В*. Усиленный усилителем *У* и прошедший через линию задержки *ЛЗ* импульс, поступает на второй вход схемы совпадения «И». Полученный на выходе схемы совпадения сигнал рассогласования выпрямляется диодом *Д* и подается на сетку реактивной лампы *РЛ*.

Управляемая диодом реактивная лампа включена параллельно колебательному контуру генератора *Г*. Она представляет собой эквивалентную емкость, величина которой зависит от напряжения на ее сетке. Частота генератора должна устанавливаться такой, чтобы задний фронт импульса из линии задержки совпадал с передним фронтом импульса от триггера *Т*, который фикси-

рует импульс, поступивший от счетчика. Триггер дает сравнительно широкий импульс (порядка нескольких десятков микросекунд). Он устанавливается в нулевое положение каждый раз от четвертого разряда счетчика после прохождения через него 32 импульсов. Схема совпадений «И» фиксирует момент совпадения импульса, поступившего со счетчика, и импульса, пришедшего из линии задержки. Если время задержки линии точно равно номинальному, то оба импульса совпадают, как показано на рис. 84,*а*, и схема совпадений дает на выходе диода импульсы, амплитуда которых пропорциональна площади фигуры, заштрихованной на рисунке. Получающееся при этом напряжение на диоде принимается за начальное (нулевое) значение.

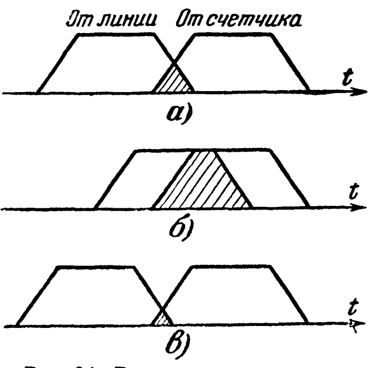


Рис. 84. Временная диаграмма импульсов.

а — при нормальной длине линии; *б* — при большой длине линии; *в* — при меньшей длине линии.

Положим теперь, что вследствие изменения температуры время задержки *ЛЗ* увеличилось. Тогда импульс от нее придет на схему совпадений несколько позднее, чем от счетчика (рис. 84,*б*). В этом случае импульс на выходе схемы совпадения и диода возрастет и на сетку реактивной лампы *РЛ* будет подано большее напряжение. Вследствие этого ее емкость увеличится, что приведет к понижению частоты генератора *Г*. Частота генератора уменьшится настолько, что сигнал на выходе диода *Д* станет равным начальному (нулевому) значению и нарушение балансировки устранится. Таким образом, увеличение времени задержки линии окажется скомпенсированным соответствующим уменьшением частоты генератора, так что в линии будет снова помещаться прежнее число импульсов. Уменьшение времени задержки линии от температуры вызовет уменьшение напряжения на выходе схемы совпадений и диода (рис. 84,*в*), что приведет к уменьшению емкости реактивной лампы и к увеличению частоты генератора

Итак, описанная схема автоматически регулирует частоту генератора, в результате чего в линии всегда помещается одинаковое число импульсов.

В некоторых запоминающих устройствах с ультразвуковыми линиями применен другой способ температурного контроля. Генератор стандартных импульсов *Г* стабилизируют кварцем, а линии задержки помещают в автоматически регулируемый термостат.

Схема управления запоминающим устройством с ультразвуковыми линиями задержки имеет электронные

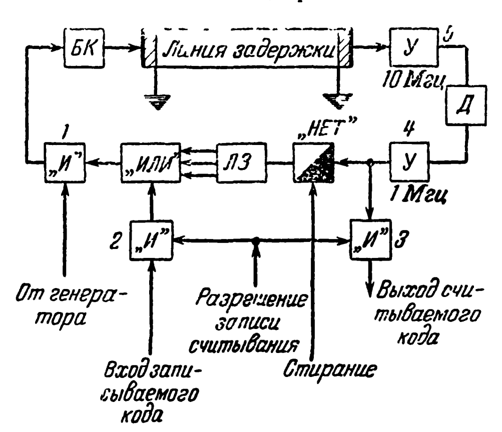


Рис. 85. Схема блока хранения кодов на ультра звуковой линии задержки

ключи для записи (ввода) и считывания (вывода) кодов и стирания старых при записи новых. Полная схема блока хранения кодов чисел в линии задержки дана на рис. 85.

Импульс с выхода линии задержки усиливается, детектируется, формируется и подается через электронный ключ типа «НЕТ» на электромагнитную линию *ЛЗ*, обладающую временем задержки 1 *мксек*. Проходя через отводы линии *ЛЗ* и схему разделения (схему «ИЛИ»), импульс из ультразвуковой линии задержки «расширяется» до 1 *мксек*. Этот широкий импульс служит сигналом, пропускающим в линию через схему совпадений *1* стандартный импульс от генератора. Таким путем импульс с выхода ультразвуковой линии снова восстанавливается по форме и фазе.

Расширение импульса необходимо для повышения надежности его прохождения с выхода на вход линии. Оно осуществляется благодаря тому, что один и тот же импульс, задержанный на разное время в отрезках линии задержки *ЛЗ*, проходит последовательно один за другим на вход схемы совпадений. Для того чтобы ввести код в линию, необходимо подать его на вход электрочного ключа типа «И», закрыв ключ типа «НЕТ» импульсом сти-

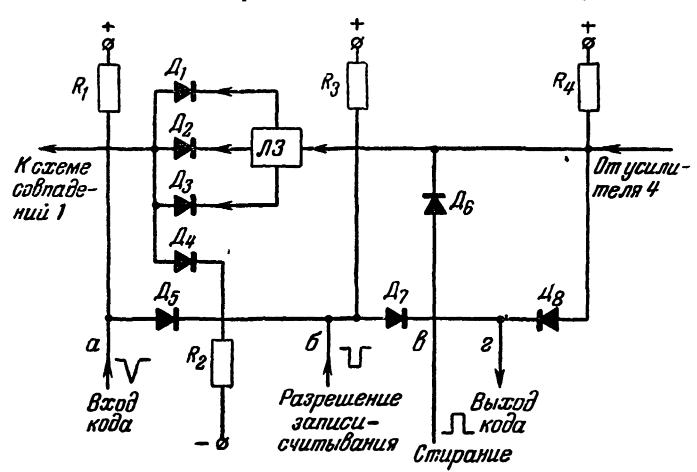


Рис. 86. Принципиальная схема электронных ключей записи считывания, стирания и расширения

рания. При этом одновременно происходит считывание кода, но он никуда не поступает. Операция считывания отличается только отсутствием стирания.

Принципиальная схема электронных ключей записи, считывания и стирания показана на рис. 86. Сигнал с выхода линии от усилителя *4* (см. рис. 85) на частоте 1 *Мгц* поступает на линию *ЛЗ*. От трех выводов этой линии импульсы поступают последовательно на разделительные диоды $Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$, благодаря чему расширяется импульс, поданный на *ЛЗ* (через схему «ИЛИ»).

Сопротивления R_1 и R_2 и диод $Д_5$ образуют схему совпадений *2* (рис. 85). При совпадении отрицательных импульсов на аноде и катоде диода $Д_5$ в ультразвуковую линию задержки через диод $Д_1$ посылается отрицательный импульс, соответствующий коду «1» на шине *а*.

Диоды $Д_7$ и $Д_8$ и сопротивления R_3 и R_4 образуют схему совпадений *3* (рис. 85). При отсутствии отрицательного импульса от шины *б* диод $Д_7$ проводит ток и запирает диод $Д_8$. Если же на шину *б* подать отрицательный импульс, то диод $Д_7$ будет закрыт, а диод $Д_8$ открыт. Выходной сигнал на шине *г* появится только в том случае, когда диод $Д_8$ будет закрыт отрицательным импульсом от усилителя считывания *4* (рис. 85), т. е. при совпадении импульсов от шины *б* и от усилителя считывания.

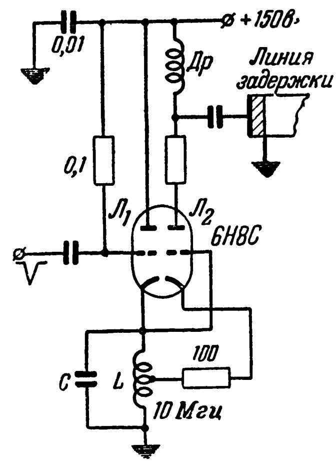


Рис. 87. Возбудитель кварца.

Импульс стирания, проходящий через диод $Д_6$, запрещает прохождение отрицательного импульса от усилителя считывания на вход линии *ЛЗ*.

Возбудитель кварца *ВК* (рис. 87) представляет собой генератор синусоидальных колебаний на частоту 10 *Мгц*, собранный по трехточечной схеме. Он генерирует в течение отрезка времени, когда на сетке триода $Л_1$ действует отрицательный синхронизирующий импульс. Импульсы на сетку триода подаются с частотой 1 *Мгц*. Для усиления сигнала на выходе линии задержки, составляющего несколько милливольт, применяется усилитель (рис. 88). Коэффициент усиления усилителя по напряжению обычно составляет 10 000—20 000.

Для преобразования электрической энергии импульса в энергию ультразвука используется явление магнитострикции. Оно заключается в изменении размеров тела под влиянием магнитного поля (прямой эффект) и изменении магнитного потока в ферромагнитном материале, находящемся в магнитном поле, при механических напряжениях (обратный эффект).

Схема магнитострикционной линии задержки показана на рис. 89. Ультразвуковые колебания в линии возбуждаются полем катушки L_1, через которую проходит импульс тока Материалом линии является обычно нике-

левая проволока (99,9% никеля). В конце линии имеется приемная катушка L_2, помещенная в поле магнита *M*. Проходящие через нее ультразвуковые волны вызывают изменение потока в проволоке и индуцируют э. д. с. в катушке. Эта э. д. с. усиливается и поступает в вентильную схему, аналогичную схеме рис. 85.

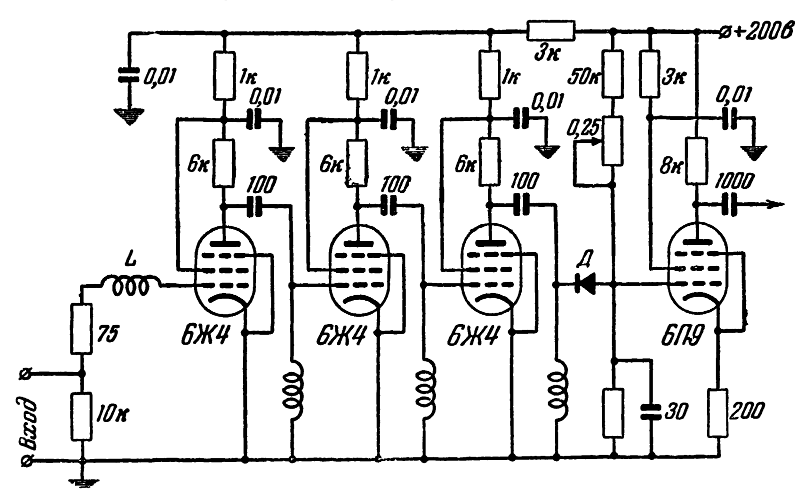


Рис. 88. Усилитель импульсов на выходе линии задержки.

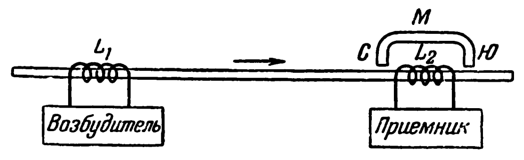


Рис. 89. Магнитострикционная линия задержки.

Такие линии просты и дешевы. По сравнению с другими линиями они имеют меньший температурный коэффициент, но пропускают меньшую полосу частот, что не позволяет работать с ними на частоте выше чем 500 — 600 *кгц*.

31. ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

Ультразвуковые линии задержки большой емкости ограничивают скорость действия вычислительной маши-

ны и по своей природе мало подходят для машин параллельного действия, в которых все разряды одного числа одновременно участвуют в арифметической операции. Поэтому для быстродействующих параллельных машин были разработаны оперативные запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках с временем обращения порядка 10 *мксек* и меньше. Они позволяют выполнять в машине несколько десятков тысяч сложений в секунду. Ультразвуковые же линии весьма эффективно применяются для последовательных цифровых машин, а также для целого ряда специальных вычислительных машин, где осуществляется последовательная выборка чисел из линии.

В запоминающем устройстве на электронно-лучевых трубках используется свойство отдельных маленьких участков экрана трубки заряжаться при облучении его электронным пучком. Этот заряд удерживается в течение некоторого времени и может быть затем снят с экрана во внешнюю цепь при считывании записи.

Если экран электронно-лучевой трубки, изготовленный из диэлектрика (например, стекла) облучать электронным пучком, то облучаемый участок изменяет свой потенциал в зависимости от скорости первичных электронов, летящих от катода к экрану. Когда скорость первичных электронов мала, то из облучаемого участка экрана выбивается небольшое число вторичных электронов, значительно меньшее, чем число попадающих на него первичных электронов. Поэтому данный участок экрана заряжается отрицательным потенциалом. Если же скорость первичных электронов в пучке велика, то из экрана выбивается вторичных электронов значительно больше, чем попадает первичных, и экран заряжается положительным потенциалом, так как он теряет электронов больше, чем приобретает.

Таким образом, управляя скоростью электронов, идущих от катода к экрану трубки, можно изменять потенциал отдельных участков экрана и запоминать это состояние экрана в течение некоторого времени.

Имеется несколько способов использования описанного явления запоминания двоичных чисел на экране электронно-лучевой трубки. Рассмотрим один из этих способов с применением обычной электронно-лучевой трубки (рис. 90). На экран трубки накладывается металличе-

ский лист, образующий одну пластину конденсатора, в котором диэлектриком служит экран трубки. Второй «пластиной» является электронный пучок, падающий на данный участок. Разбивка экрана на ряд отдельных участков производится с помощью специальной развертки (типа телевизионной). Для того чтобы при развертке на экране получались не прямые линии, а ряд отдельных изолированных точек, электронный пучок перемещается по экрану не непрерывно, а прерывается через определенные промежутки. Это осуществляется с помощью импульсов, открывающих путь для электронного пучка. Нормально электронный пучок заперт большим отрица-

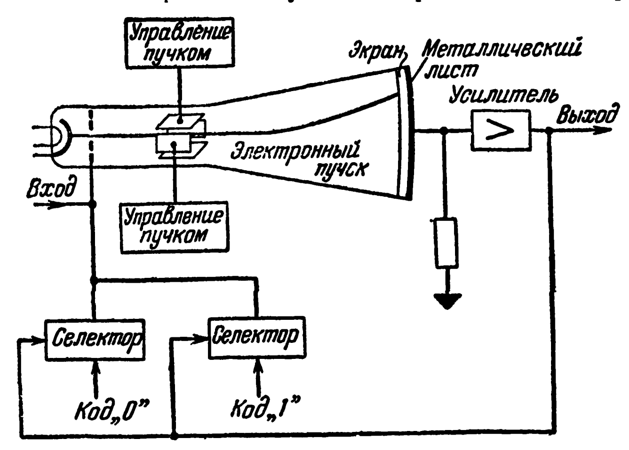


Рис. 90. Схема электронно-лучевой запоминающей трубки.

тельным смещением на управляющей сетке электронно-лучевой трубки. При поступлении на нее положительных импульсов электронный пучок «отпирается» и попадает на экран.

Для записи двоичного кода в данной точке экрана в нее направляется электронный пучок. Последний управляется напряжениями на отклоняющих пластинах трубки. Импульс на входе, соответствующий коду «1» записывается на экране трубки в виде тире, а код «0» (отсутствие импульса) — в виде точки. Такая запись происходит вследствие того, что при наличии импульса на входе электронный пучок остается открытым больше времени, чем при отсутствии входного импульса. При

считывании кодов, записанных на экране, в данную точку экрана снова направляется электронный пучок, который последовательно пробегает по всем участкам экрана. При этом на металлическом листе, приложенном к экрану, возникают импульсы различной длительности· короткие импульсы для «точки» и длинные для «тире».

Импульсы, снимаемые с металлического листа на экране трубки, усиливаются и с помощью специальных селекторных схем разделяются на короткие импульсы, соответствующие точке, и на длинные, соответствующие тире.

Импульсы на селекторных схемах снова подаются на вход и модулируют электронный пучок, который снова перезаписывает их в соответствующих участках экрана. Таким образом достигается систематическая последовательная перезапись, необходимая для сохранения записываемой информации в течение длительного времени.

Импульсы с выхода усилителя в определенной последовательности подаются в вычислительное устройство машины.

Обычно одна электронно-лучевая трубка служиг для запоминания одного разряда каждого числа, так что количество трубок в машине равно количеству двоичных разрядов. На экране одной трубки можно записать 1 024 — 2 048 и более отдельных кодов. Таким образом емкость всего запоминающего устройства, состоящего, например, из 40 электронно-лучевых трубок, составляет 1 024—2 048 сорокоразрядных двоичных чисел.

Преимуществом запоминающего устройства на электронно-лучевых трубках, по сравнению с запоминающими устройствами на ультразвуковых линиях задержки и магнитных барабанах, является возможность произвольной выборки и записи чисел в любом порядке. Вследствие этого время выборки чисел из запоминающего устройства здесь весьма мало и составляет порядка 10 *мксек* и меньше.

Но относительная недолговечность трубок делает эксплуатацию такого запоминающего устройства весьма дорогостоящей. Кроме того, оно требует много управляющей аппаратуры и высокостабильное питание. Эти недостатки вместе с ограниченной емкостью заставили искать других средств и привели к разработке нового, более дешевого и надежного. запоминающего уст-

ройства на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса.

32. ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

Существует несколько типов запоминающих устройств на магнитных сердечниках. Мы рассмотрим здесь только один из них, а именно, запоминающее устройство, основанное на совпадении двух токов. В этом устройстве используется свойство некоторых ферритов сохранять состояние остаточной намагниченности при

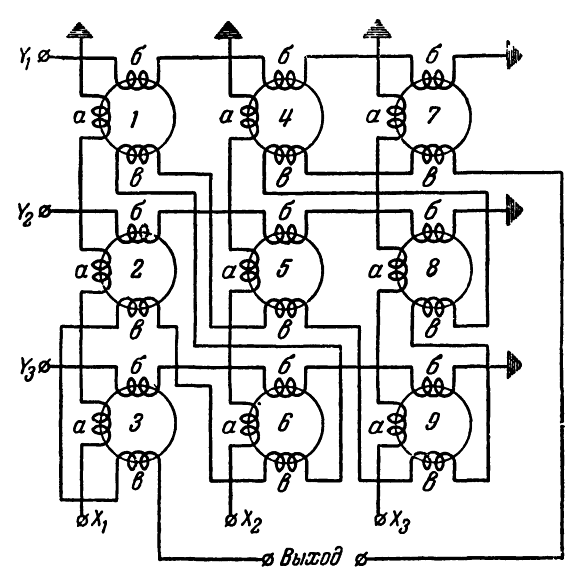


Рис. 91. Запоминающая матрица из девяти сердечников.

подаче в его обмотку импульса тока с амплитудой i и перемагничиваться при подаче в обмотку импульса тока вдвое большей амплитуды $2i$. В соответствии с этим, если на такой сердечник подать импульс тока, то на выходе будет иметь место большой сигнал только тогда, когда после воздействия током $2i$ следует воздействие тока той же амплитуды, но обратного знака. При воздействии же тока с амплитудой i выходные сигналы малы.

Запоминающее устройство на ферритовых сердечниках состоит из сетки (матрицы). Для примера на рис. 91

показана сетка из девяти ферритовых сердечников. Каждый из сердечников имеет три обмотки *а*, *б*, и *в*. На обмотки *а* и *б* подаются импульсы тока *i* для перемагничивания сердечника из одного состояния в другое. Третья обмотка *в* служит для считывания сигнала, получаемого от сердечника. Считываемый сигнал дает тот код числа, который запоминался сердечником. Для того чтобы можно было бы выбирать нужные сердечники из данной сетки, имеются «адресные» шины x_1, x_2 и x_3, определяющие положение сердечника на плоскости в горизонтальном направлении, и шины y_1, y_2 и y_3, определяющие его положение в вертикальном направлении. Сердечник, лежащий на пересечении выбранных адресных шин, и есть выбираемый для считывания или запоминания кода сердечник.

Обмотки сердечников в каждом из двух направлений *Х* и *У*, а также все обмотки для считывания соединяются последовательно. Импульс напряжения, появляющийся в одной из считывающих обмоток, проходит через все остальные обмотки на выход, где он усиливается электронным усилителем. Прохождение импульса напряжения через обмотки остальных сердечников не вызывает их намагничивания, так как ток в них ничтожно мал.

Если, например, подать импульсы тока на шину X_2 и $У_1$, то только сердечник *4* перемагнитится и перейдет из одного магнитного состояния в другое. В этом сердечнике токи в обмотках *а* и *б* складываются и намагничивают сердечник пропорционально току $2i$. Что же касается сердечников *1*, *7*, *5* и *6*, то они не изменят своего состояния, так как проходящий через их обмотки ток для этого недостаточен. Сердечники *2*, *8*, *3* и *9* вообще никакого подмагничивания не получают, так как через их обмотки импульс тока не проходит.

Обычно сетка содержит по 64 сердечника в каждом направлении, т. е. всего 4 086 сердечников. Если взять число таких сеток-матриц, равное числу разрядов числа, и сложить их стопкой, то получим матричный кубик (рис. 92) из сердечников, каждая матрица которого содержит цифры одного разряда всех кодов.

Число матриц *N* обычно выбирается от 40 до 60. Запись и выборка кодов чисел из матричного кубика производится одновременно и параллельно из всех плос-

костей. Для этого имеется 64 источника тока по горизонтальной оси X матричной плоскости и 64 источника тока по вертикальной оси $У$.

Обмотки всех ферритовых сердечников, лежащих на одной горизонтали *а* в разных плоскостях кубика, соединяются последовательно, как показано на схеме ломаной линией *абвгд*. Также соединяются последовательно обмотки всех ферритовых сердечников, лежащих по одной вертикали *е* (линия *ежзик*). Каждая из последовательно соединенных цепей по горизонтали и по вертикали питает-

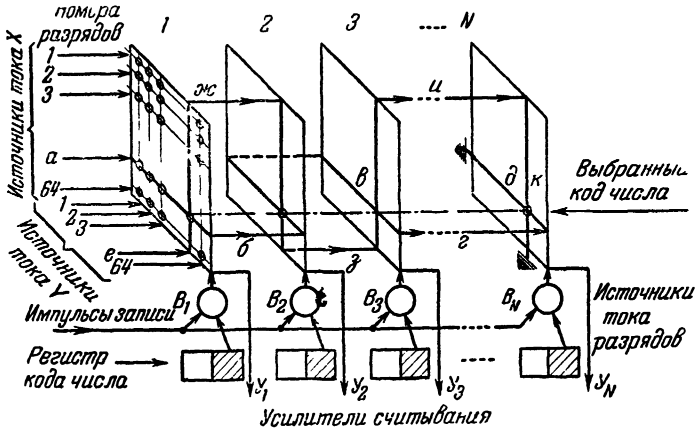


Рис. 92. Запоминающий матричный кубик из ферритовых сердечников.

ся от отдельного источника тока. Обмотки записи и считывания всех сердечников соединены последовательно только для одной плоскости кубика (для каждого разряда числа). Эти обмотки каждой плоскости присоединены к электронным ключам записи B_1, B_2, B_3,..., B_N и к усилителям считывания $У_1$, $У_2$, $У_3$,..., $У_N$.

Для выборки нужного кода из запоминающего кубика к одной из горизонтальных линий *а* и к одной из вертикальных линий *е*, называемых адресными шинами X и $У$, присоединяются источники тока. При этом сердечники, лежащие на пересечении этих линий в каждой из плоскостей, перемагничиваются, и те из них, которые находились в состоянии, соответствующем коду «1», переходят в состояние кода «0» В обмотке считы-

вания получается импульс напряжения, который усиливается для каждого разряда и фиксируется триггерной ячейкой регистра кода числа. Таким образом, выбранный из кубика код числа запоминается регистром и передается далее из него в арифметическое устройство машины.

При выборке данного числа из матричного кубика хранящаяся в нем в этом месте информация нарушается и необходима или перезапись считываемого кода, или запись в этом месте нового числа.

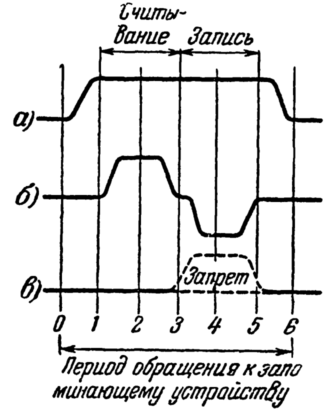


Рис. 93. Временная диаграмма работы запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

а — от регистров адреса X и Y, *б* — от выбранных источников тока X и Y, *в* — от источников тока разрядов.

Запись числа осуществляется присоединением к соответствующим адресным шинам 1, 2, 3...*а*... по горизонтали X и шинам 1, 2, 3...*е*... по вертикали $У$ источников тока, имеющих обратную полярность, чем при считывании. Для того, чтобы намагнитить и перевести в состояние кода «1» только те сердечники, где код разряда числа есть «1», в записывающие обмотки той плоскости, где должен быть код «0», подается запрещающий импульс. Этот импульс, компенсируя воздействие намагничивающего импульса тока от адресных шин X и $У$ предотвращает переход сердечника в состояние кода «1». Подача запрещающих импульсов производится через вентили записи B_1, B_2,..., B_N, которые управляются триггерными ячейками регистра кода числа. Вентили открыты только для тех триггеров, которые находятся в положении, соответствующем коду «0» в данном разряде числа.

Для перезаписи кода числа используется тот же триггерный регистр кода числа, откуда производилось считывание его с сердечников. При записи нового числа вместо считываемого в триггерном регистре должен быть установлен новый код числа.

На рис. 93 показана временная диаграмма для считывания и записи кода числа в запоминающий кубик

Широкий верхний импульс *а* служит импульсом, разрешающим считывание и запись с соответствующих шин *X* и *У*. Номера адресных шин *X* и *У* задаются кодами чисел в специальных регистрах адресов *X* и *У*. Импульс *б* имеет положительную полярность для считывания и обратную полярность для записи. Запрещающий импульс *в* имеет положительную полярность и компенсирует отрицательный импульс в записывающих обмотках тех плоскостей, где должен быть код «0».

Принципиальная схема записи и считывания кодов чисел в матричном кубике на магнитных сердечниках для

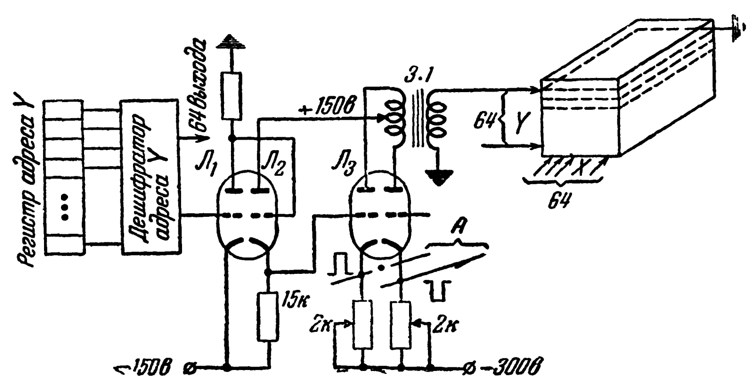


Рис. 94. Схема записи и считывания по адресу.
А — общие шины записи считывания 64 источников полутоков

одного разряда приведена на рис. 94. Триггерный регистр адреса *Y* (то же и для *X*) обычно имеет емкость в пять двоичных разрядов и управляет дешифраторной сеткой, на выходе которой имеется 64 шины, соответствующих 64 адресам. На выходе каждой шины имеется усилительная лампа $Л_1$ с катодным повторителем $Л_2$. Катодный повторитель управляет двойным триодом $Л_3$, являющимся источником тока в каждой из шин *Y* и *X* матричного кубика.

Стандартный сигнал для записи и считывания непрерывно подается в катодные цепи триода $Л_3$ по двум шинам, которые являются общими для считывания и записи. Стандартный сигнал пропускается в обмотки записи и считывания сердечников, если на вход лампы $Л_1$ подано напряжение от соответствующей адресной шины дешифратора.

Сигнал, получаемый от обмоток считывания сердечников в каждой плоскости матричного кубика, имеет сравнительно малую амплитуду. Поэтому он предварительно усиливается. Усилитель (рис. 95) имеет на выходе катодный повторитель, который дает мощные импульсы, поступающие затем в регистр кода числа.

По описанному принципу построен ряд действующих запоминающих устройств. В них применяются сердечники диаметром 2 *мм*, потребляющие для перемагничивания мощность порядка 1 *вт*. Для запоминающего ку-

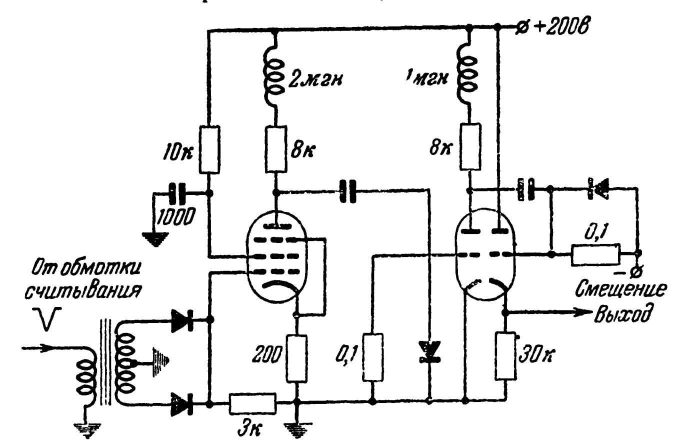


Рис. 95. Усилитель считывания кодов числа.

бика на 4 096 чисел, каждое из которых имеет 40 двоичных разрядов, требуется иметь $64 \times 64 \times 45 = 163\,840$ сердечников, потребляющих значительную мощность и требующих для управления сравнительно большое число электронных ...

В настояще... ...повые магнитные запоминаю... ...х управление производится ... ...овых триодах. Ферритовые се... ...тюрными ферритовыми пластинками, каждая из которых имеет 256 отверстий, соответствующих 256 сердечникам.

Благодаря компактности, надежности и большой емкости, запоминающие устройства на ферритах и полупроводниках в ближайшее время получат широкое применение.

Цена 3 р. 50 к.